

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Motorový padákový kluzák s podvozkem
Motor Paraglider with Landing Gear

Student:

Bc. Zbyněk Kravčík

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Oldřich Učeň, Ph.D.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Zbyněk Kravčík**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 20 Výrobní stroje a zařízení
Téma: **Motorový padákový kluzák s podvozkem**
Motor Paraglider with Landing Gear

Zásady pro vypracování:

Navrhnete motorový padákový kluzák s podvozkem. Zařízení musí umožňovat dopravu dvou osob. Celkovou maximální vzletovou hmotnost volte 350 kg. Při návrhu kluzáku respektujte předpisy Letecké amatérské asociace ČR.

Vypracujte:

1. Technickou zprávu s popisem funkce navrhovaného zařízení se všemi nezbytnými výpočty.
2. Konstrukční návrh motorového padákového kluzáku s podvozkem.
3. Pevnostní kontrolu důležitých uzlů.
4. Detailní výrobní výkres vybrané součásti.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910. *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

NĚMČEK, M.: *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů*. 2. vydání. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1782-8.

Literární rešerše zpracovaná v rámci Diplomového projektu.

Předpisy Letecké amatérské asociace ČR.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Oldřich Učeň, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Mistopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 19.5. 2014

..... Kvařík

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 19.5.2014

..... Kravčík

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Zbyněk Kravčík

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Borovského 696, 734 01, Karviná

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Kravčík Z. Motorový padákový kluzák s podvozkem. Ostrava: Katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní, VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2014, 51 s. Diplomová Práce, vedoucí Učeň, O.

Diplomová práce se zabývá návrhem motorového padákového kluzáku s podvozkem. První část práce obsahuje náhled do historie paraglidingu a seznámení se závěsným podvozkem. Následně jsou provedeny zkoušky simulující technickou prohlídky dle UL 2 část 4. Při simulacích jsou kontrolovány jednotlivé části podvozku a jejich schopnost zkoušku bez poškození vydržet. Dalším krokem je návrh tlumičů hlavního podvozku. Součástí práce je výkres sestavy, výkres svařence rámu a výrobní výkres součásti přední vidlice.

ANOTATION OF MASTER'S THESIS

Kravčík Z. Motor Paraglider with Landing Gear. Ostrava: Department of Production Machines and Design, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2014, 51 p. Master's Thesis, head: Učeň, O.

This thesis describes the construction design of a Motor Paraglider with Landing Gear. The first part of this thesis contains insights into the history of paragliding and introduction of lifting chassis. Subsequently tests are conducted to simulate a technical inspection by UL2 part 4. The simulations are controlled each parts of the chassis and test their ability to withstand without damage. The next step is construction design of the main chassis shock absorbers. Part of this thesis is an assembly drawing, drawing frame weldment and manufacturing drawing of front forks.

Poděkování:

Rád bych zde poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Oldřichu Učňovi, Ph.D. a Ing. Janu Szwedovi, Ph.D. za jejich rady a čas, který mi věnovali při řešení dané problematiky. V neposlední řadě také děkuji rodičům za podporu při mém studiu.

Obsah

1 Úvod.....	10
2 Historie paraglidingu a výroby vybavení	11
2.1 Domácí vývoj.....	15
2.2 Motorový paragliding.....	16
2.3 Motorová krosna	16
2.3 Motorová podvozek MPG	17
3 Návrh komponentů.....	18
3.1 Návrh vhodného paraglidingu	18
Technické parametry zvoleného paraglidingu.....	19
3.2 Návrh pohonné jednotky	19
Technické parametry motoru Rotax 447	20
3.3 Volba vrtule	21
3.4 Čtyřbodové pásy	22
3.5 Podvozková kola.....	23
3.5.1 Zadní podvozková kola	23
3.5.2 Přední podvozkové kolo	23
4 Ergonomie podvozku	24
5 Pevnostní průkaz podvozku MPG	26
5.1 Hlavní podvozek	28
a) Napětí a deformace během letu	28
b) Vertikální přistávací ráz	30
c) Boční zatížení podvozku	32
d) Brzdění	34
5.2 Příďový podvozek.....	35
5.3 Zhodnocení zkoušek.....	36
6 Destruktivní zkoušky podvozku MPG	37

6.1 Na pilota působí přetížení 3g směrem nahoru	38
6.2 Na pilota působí přetížení 1,5g do boku.....	40
6.3 Na pilota působí přetížení 6g dolů	41
6.4 Zhodnocení zkoušek.....	42
7 Návrh pružiny a tlumiče hlavního podvozku MPG	43
7.1 Výpočet tuhosti pružiny	44
7.2 Návrh tlumiče	46
8 Závěr	48
9 Seznam použité literatury	49
8 Přílohy	51

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

c_p	tuhost pružiny	[N/mm]
F_p	síla na pružinu	[N]
F_l	reakce při dopadu kolmá na rameno	[N]
F_l'	reakce při dopadu kolmá k zemi	[N]
F_2	reakce při dopadu v místě uchycení tyče tlumiče	[N]
g	tíhové zrychlení	[m/s ²]
Δl	maximální stlačení pružiny	[mm]
m	hmotnost podvozku	[kg]
R_e	mez kluzu	[MPa]
R_m	mez pevnosti	[MPa]
v_d	rychlost dopadu	[m/s]
v_T	rychlost stlačování tlumiče	[m/s]
v_l	rychlost kola kolmo na rameno	[m/s]
v_l'	rychlost kola rovnoběžně s v_d	[m/s]
v_2	rychlost v místě uchycení tyče tlumiče	[m/s]
φ	hustota	[kg/m ³]

1 Úvod

V dnešní uspěchané době hledá spousta lidí způsob odreagování. Chtějí se oprostit od všedních problémů a alespoň na chvíli se cítit volní. Každý člověk řeší tento problém po svém, ale najdou se i tací, kteří se chtějí na svět dívat z větší výšky a létat vzduchem, kam se jim zamane. Jedním z nejjednodušších a nejdostupnějších způsobů, jak si tento sen splnit je létání na paraglidingu. Stačí projít kurzem podobným autoškole a než se člověk naděje je z něj "pilot". Tato skutečnost vede k tomu, že se paragliding masově rozšiřuje mezi veřejnost a to nejen v horských oblastech, ale díky pomocným motorům a závěsným podvozkům i v místech od hor vzdálených. Paragliding je sport, který většina populace řadí mezi adrenalinové, rizikové, životu nebezpečné aktivity. Stále se ale setkáváme s lidmi, kteří vlastně ani přesně nevědí, o jaký sport se jedná a často ho zaměňují s parašutismem.



Obr. 1.1 Akrobatický paraglidingu [1]

2 Historie paraglidingu a výroby vybavení

Historicky prvním doloženým pokusem o seskok z výšky za pomoci nějakého zařízení je skok Fausta Veranzia, který vyskočil z jakési věže v Benátkách s konstrukcí ze dřeva a plátna. V průběhu pádu bohužel došlo k její totální deformaci, a tak střet se zemí ukončil nejen pokus, ale i Faustův život. Skutečně úspěšný seskok s padákem má datum 22. 10. 1797. Tehdy seskočil jakýsi André Jacques Garnerin z teplovzdušného balónu a i když se jeho výtvar v průběhu pádu dosti povážlivě rozkýval, Jacques přistání přežil a položil základy k rozvoji použitelného seskokového padáku. [2]



Obr. 2.1 Myšlenka padáku pochází již ze středověku, Leonardo da Vinci vytvořil návrh padáku již v letech 1480-83 [3]

V první světové válce došlo k rozvoji mnoha nových zbraní. Mimo jiné i ponorek, které řešily problémy s rozhledem při pozorování vodní plochy v průběhu plavby na hladině. Díky tomuto problému byla vyvinuta technika vlečení pozorovatele na padáku za plovoucí ponorkou. Také používání seskokových padáků znamenal značný rozvoj. Nejprve jako výbava pozorovatelů v balónech. Ti sledovali bojiště, hlásili zásahy dělostřelectva. Ke konci 1. světové války se stal záchranný padák výbavou vojenských pilotů a po skončení první světové války byl již záchranný letecký padák standardní výbavou jak ve vojenském, tak civilním letectví.



Obr. 2.2 Vlečný padák [4]

V období mezi dvěma světovými válkami se oba druhy padáků jak vlečné, tak seskokové dále vyvíjely a zdokonalovaly. Vlekání kulatých padáků bylo populární například v Německu a Holandsku. Pak se světem přehnala druhá světová válka a po ní zůstaly v Evropě i v USA spousty osiřelých leteckých základen, které byly pro vlekání přímo ideální. Tato záliba se rozvíjela přesto, že vlekání kulatého padáku nenabízelo osobě k němu upoutané mnoho možností, jak aktivně ovlivnit svůj pohyb ve vzduchu. Navíc bylo vzhledem ke špatným vlastnostem tehdejších padáků zapotřebí poměrně velkých vlekacích sil, aby se vůbec ve vzduchu udržely. Situace se zlepšila s nástupem typu Paracommander, který měl vyšší říditelnost a při vlekání byl efektivnější, než předchozí typy. Byl vyvinut firmou Pioneer Parachute Corporation na konci padesátých let a znamenal revoluci ve světě sportovního parašutismu a vlekání, neboť měl klouzavost téměř 1:2, na rozdíl od prakticky nulové hodnoty svých předchůdců. Turisté brzy objevili nový způsob zábavy. Nechali se vozit vysoko nad plážemi, připoutáni k Paracommanderu, taženi motorovým člunem. Této atrakci, někdy nadneseně nazývanou sportem se říká parasailing. [2]

Revoluční krok ve vývoji různých zařízení pro řízení páru až létání, udělala NASA (National Aeronautics and Space Administration). Při vývoji kosmických lodí musela

NASA řešit zásadní problém a to, jak dostat lodě na zem bez větších poškození. Navrhli několik různých řešení, mezi které patří i rogallovo křídlo a několika druhů ovladatelných padáků, včetně typů formovaných nápořem vzduchu do tvaru nosné plochy s leteckým profilem. Tyto nápořem tvarované padáky samozřejmě klouzaly daleko lépe, než klasické kulaté a také se mnohem lépe ovládaly. To byl důvod, proč se jich poté, co byly pro použití v kosmickém programu zavrženy, ujal svět sportovního parašutismu. Mezi země ve kterých se na počátku sedmdesátých let padákové křídlo ujalo, jako první patří Severní Amerika. Odtud se pak dále šířilo do celého světa.

Duchovním otcem nového sportovního padáku – křídla je Kanadčan Domina Jalbert, konstruktér i padáku Para Foil, který je parašutisty dodnes považován za etalon kvality. Nová technika svět parašutismu nakonec zcela ovládla a ke zrodu paraglidingu zbýval už jen krůček. [2]



Obr. 2.3 Svahový paragliding [5]

Ve Velké Británii se počátkem sedmdesátých let zformovala skupina nadšenců, kteří založili Britskou asociaci parasailingu. Díky výborným vlastnostem nových padáků se tato činnost stávala stále populárnější. Z pasažérů, kteří se nespokojili s pasivním letem za tažným zařízením, se stali rychle piloti. Ve výšce se od vlečného lana odepnuli a soutěžili v přistání na přesnost. I tady se ovšem brzy vyskytly pokusy o starty ze svahu. John Harbot a Andrew Crowley, kteří vyráběli seskokové padáky, šli touto cestou a později se stali jedněmi z prvních britských instruktorů. [2]

Významným krokem pro paragliding je rok 1978, kdy se Gérard Bosson začíná aktivně věnovat létání na svahu, zakládá vlastní klub „Les Chaucas“ (Kavky), a o rok později předvádí tento sport veřejnosti. Slaví ohromný úspěch a organizuje profesionální školu létání. Stále létá na vysloužilých seskokových padácích. První skutečný padákový kluzák zkonstruoval v roce 1985 Lauren de Kalbermatten, jmenoval se Randaneusse a firma Alies de K ho začíná po stovkách vyrábět. Rok 1985 je tedy možno považovat za skutečný počátek paraglidingu. Dochází k postupným proměnám jak v konstrukci, tak v použití materiálů. Dřívější vzhled křídla, připomínající více nafukovací matraci, se mění do elipsovité podoby, což přináší výrazné zlepšení aerodynamických vlastností a tím pádem zlepšení výkonu. Látky na výrobu jsou opatřeny zátěrem, což zvyšuje klouzavost (poměr doklouzané vzdálenosti k výšce k tomu potřebné) padákových kluzáků (přibližně 4:1). Dochází ke skutečnému rozmachu tohoto sportu. Vznikají noví výrobci kluzáků i speciálního vybavení (postroje, přilby, přístroje). Novému způsobu létání se nejvíce daří v Alpách, rozvíjí se ve Francii, Švýcarsku, poté v Itálii, Rakousku a Německu. První piloti - dobrodruzi začínají závodit, kdo sletí z nejvyšší hory, kdo se ve vzduchu udrží nejdéle. Po roce 1988 (dáno vývojem v oblasti konstrukce) se situace ale mění a nejlepší piloti se pokoušejí o první přelety. První pokusy měly hodnotu jen několika kilometrů až desítek kilometrů, ale postupem času až do dnešní doby se tato vzdálenost natáhla až k pěti stům kilometrů. [6]

Tím se paragliding definitivně zařadil mezi "plachtařinu", i když ani Rémond v té době zřejmě netušil, jak daleko jsou ještě hranice možností tohoto sportu. O další dva roky později – 31. prosince 1992 – totiž Jihoafričan Alex F. Louw ustanovuje, po startu ze základny Wryburg v Namibii rekord, který má hodnotu 283,9 km.

Současný platný světový rekord ulétla 14. 11. 2007 trojice brazilských pilotů Frank Brown, Marcelo "Cecéu" Prieto a Rafael Saladini v Brazílii a to přímou vzdálenost 461 kilometrů.[6]

Paraglidingu se dnes v Evropě, kde je nejvíce rozšířen, věnuje přes 100 000 pilotů. Firmy vyrábějící padákové kluzáky se počítají na desítky. Byly vyvinuty nové materiály, technologie a konstrukční přístupy, které vyhnaly výkonnost opět výše. Padákové kluzáky dnešní doby disponují klouzavostí v hodnotách od 1:7 u konstrukcí určených začátečníkům, až po 1:10 u špičkových závodních konstrukcí. Klouzavost padákových kluzáků se v průběhu vývoje více než zdvojnásobila.



Obr. 2.4 Motorizovaný paragliding [7]

2.1 Domácí vývoj

Prvními piloty v tehdejší ČSSR byli povětšinou horolezci, kteří se s paraglidingem setkávali na svých zahraničních výpravách. Za všechny průkopníky tohoto sportu u nás jmenuji alespoň horolezce Miroslava Šmída, jehož život ukončil pád při zdolávání stěny Lost Arrow v Yosemitech. V roce 1987 vznikla první domácí konstrukce. Jejím autorem byl Ing. Josef Tesař, který měl s padáky dostatek zkušeností z vývoje seskokových typů. Kluzák nesl název Alka a po konstrukční stránce byl typickým představitelem prvních padákových kluzáků. Sériově jej vyráběli v Krasu Chornice. Velmi oblíbeným typem byl také Big X. Stříhy na tento typ se daly sehnat za "pět stovek", a tak se po českých kopcích proháněla řada "samodělek" velmi rozdílné kvality. Sériově se tento typ vyráběl ve firmě Opus. V roce 1988 vznikly první směrnice pro výcvik a paragliding byl začleněn do tehdejšího Svazarmu. Nejvýznamnějším propagátorem a provozovatelem tohoto sportu u nás však byl v jeho počátcích především Aviatik klub Brno. Po roce 1989 se podmínky pro rozvoj paraglidingu u nás podstatně zlepšily a začala vznikat řada výrobců i škol. V té době spatřila světlo světa další konstrukce z dílny Ing. Tesaře Morava. Jednalo o první sériově vyráběný "elipsovitý" kluzák u nás. [2]

2.2 Motorový paragliding

Při motorovém paraglidingu se na rozdíl od běžného paraglidingu používá k získání výšky pohonná jednotka - motor s vrtulí.

Pohonná jednotka může být spojena s postrojem, označovaná jako motorová krosna, nebo umístěna na tříkolce (podvozku). V případě motorové krosny slouží za podvozek nohy a startuje se tudíž rozběhem. Motorová tříkolka se k získání rychlosti potřebné k odpoutání od země - startu rozjíždí



Obr. 2.5 Podvozek [8]



Obr. 2.6 Para motor [9]

2.3 Motorová krosna

Hmotnost motorové krosny je kolem 23-28 kg. V zásadě se používají jednoválcové dvoutaktní spalovací motory o výkonu 17-27 koní chlazené vzduchem nebo vodou. Vrtule o průměru 90-125 cm je krytá ochranným, většinou duralovým trubkovým rámem (košem) s výpletem pro zabránění zranění pilota a namotání šňůr padákového kluzáku (PK) do vrtule.

Zavěšení PK se používá buď do spodních nebo vrchních „beranů“ tvořených trubkou, nebo tzv. „měkké zavěšení“ což je přímo do karabin postroje. V dnešní době se v motorových krosnách již začínají používat i čtyřtaktní motory, jejich výhodou je kultivovanější chod (méně vibrací), nižší hlučnost a spotřeba, nevýhodou ovšem větší

hmotnost a nároky na údržbu. Létání s motorem - motorový paragliding je varianta, kde pro létání není k zapotřebí kopce ani termické stoupavé proudy. Při vhodných meteorologických podmínkách je možné odstartovat z jakékoliv rovné louky. Tuto formu létání je nejlépe přirovnat k procházkám vzduchem, kde za dodržení určitých pravidel vyvstává schopnost letět v menší výšce a navštívit tak místa, kam se po zemi lze stěží dostat. [10]

2.3 Motorová podvozek MPG

MPG - Motorový padákový kluzák s pohonem umístěným na podvozku, který je konstruován maximálně pro dvě osoby, s maximální vzletovou hmotností 350 kg.

Do vzletové hmotnosti je započítán podvozek a pasažéři. Samotný padák a veškeré provozní kapaliny se do vzletové hmotnosti nezapočítávají.

Závěs podvozku k padákovému kluzáku musí být bezpečně proveden a paralelně jištěn. Paralelní jištění musí být vedeno k pevnostně vyhovujícímu uzlu podvozku nebo závěsu postroje pro MPK, pokud již není jeho nedílnou součástí. [10]



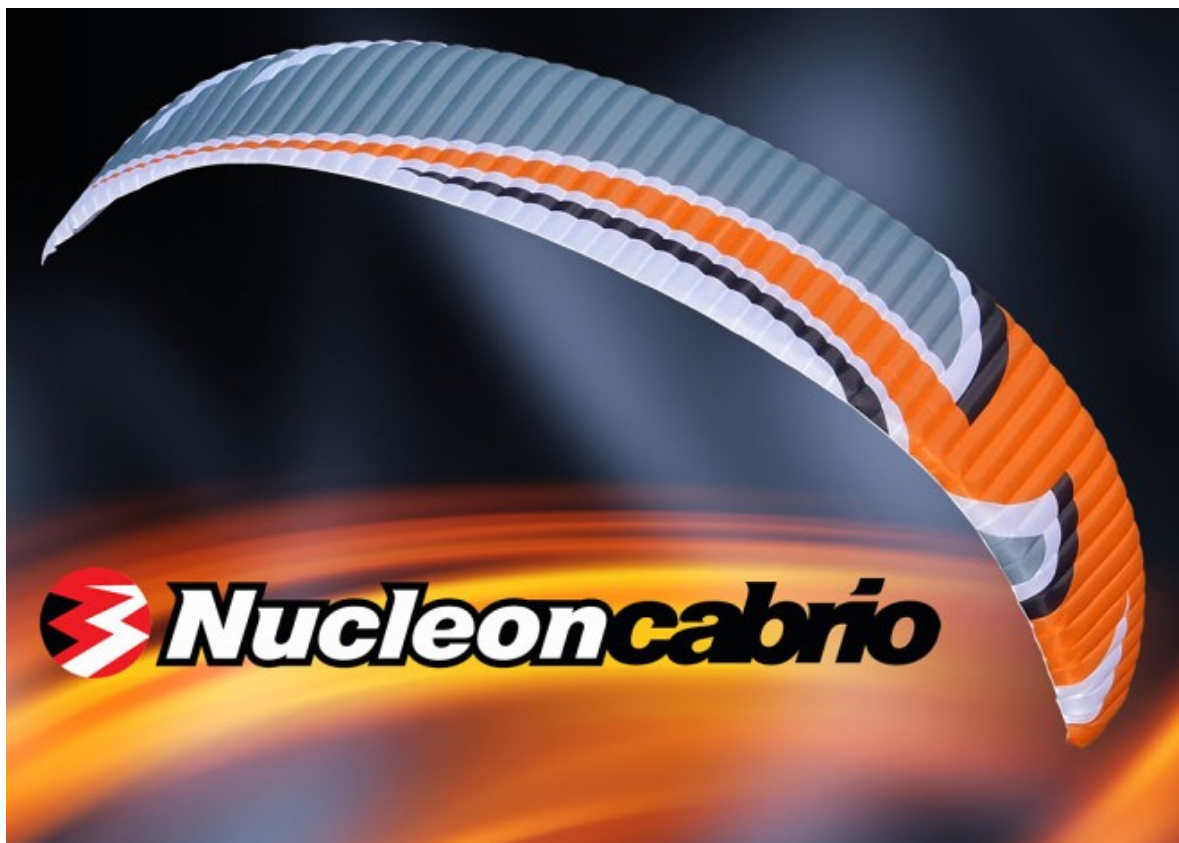
Obr. 2.7 Hlavní části [11]

3 Návrh komponentů

Před samotným návrhem motorového padákového kluzáku (MPK) je nutné si vybrat ze široké škály komponentů, které řeknou mnoho potřebných informací, s nimiž je potřeba počítat při návrhu podvozku.

3.1 Návrh vhodného paraglidingu

Jak již bylo zmíněno výše, tak motorový padákový kluzák MPG nesmí překročit vzletovou hmotnost 350 kg. Další faktor, který omezuje vzletovou hmotnost, je samotná nosnost padákového křídla. Na českém trhu je možné nalézt několik výrobců padákových křídel. Pro létání s navrhovaným podvozkem jsem vybral padák značky Nirvána s názvem NUCLEON CABRIO 42, který je předurčen k létání s MPG.



Obr. 3.1 NIRVANA NUCLEON CABRIO 42 [12]

Technické parametry zvoleného paraglidingu

Tab. 1 Technické parametry paraglidingu [12]

Velikost	Nucleon Cabrio 42
Certifikace	EN C
Počet komor	62
Plocha rozvinutá	42,00 m ²
Plocha projekční	35,77 m ²
Rozpětí rozvinuté	15,06 m
Rozpětí projekční	12,07 m
Poměr (rozvinuté/projekční)	5,4 / 4,07
Rychlost klesání [m/s]	min = 1,8; trim = 2,0; max = 3,0
Rychlost [km/h]	min = 35; trim = 45; max = 62
Hmotnost padáku	10,8 kg
Vzletová hmotnost	170–310 kg

3.2 Návrh pohonné jednotky

Pohonná jednotka hraje zásadní roli během startu a letu MPG. Je nesmírně důležité, aby měl motor dostatečně velký výkon, ale zároveň co nejmenší hmotnost. Motory mohou být dvoudobé, ale také lze použít "čtyřtakt". Dále se nabízí možnost zvolit motor chlazený vzduchem, popřípadě vodou. V mém případě jsem zvolil dvouválcový, dvoutaktní vzduchem chlazený motor Rotax 447, který se pro tyto účely běžně používá.



Obr. 3.2 Rotax 447 [13]

Technické parametry motoru Rotax 447

Tab. 2 Technické parametry paraglidingu [13]

Typ	447 UL D.C.D.I.
Výkon	29,5 kW (39,6 hp) @ 6500/min
Krouticí moment	46 Nm (34,0 ft. lbf.) @ 6000/min
Maximální otáčky	6800/min
Vrtání	67,5 mm
Zdvih	61 mm
Zdvihový objem	436,5 cm ³
Kompresní poměr	th: 9,6 ef: 6,3
Zapalování	DUCATI double CDI
Časování	18° v. OT
Výkon generátoru	155 W DC @ 6000/min
Napětí	13,5 V
Hmotnost motoru	26,8 kg
Hmotnost karburátoru	0,9 kg
Hmotnost výfuku	4,8 kg

3.3 Volba vrtule

Z konstrukčního hlediska je nejdůležitější rozměr vrtule její průměr. Podle průměru vrtule je nutné vhodně umístit pohonnou jednotku tak, aby se vrtule nemohla dotknout země, ale zároveň by se mělo udržet těžiště co nejvíc dole, aby nebyl podvozek náchylný k převrácení. Mezi nejvhodnější varianty pro motor Rotax 447 patří vrtule Woodcomp TYP KLASSIC 150 o průměru 1500 mm.

Lopatky vrtule jsou vyrobeny z kompozitního pláště, tvořeného ze speciální, nové generace tkaniny. Tato konstrukce vytváří vynikající sendvičovou konstrukci. Rotační a odstředivé síly jsou přenášeny do náboje vrtule prostřednictvím významného konstrukčního prvku, tj. kompozitní tvaru trubky, který je vložen do dřívku, kořene listu a tak do listu samotného těla. [14]

Náboj na zemi stavitelné vrtule je konstruován s těžkým důrazem na bezpečnost a splňuje veškeré provozní bezpečnostní předpisy. [14]



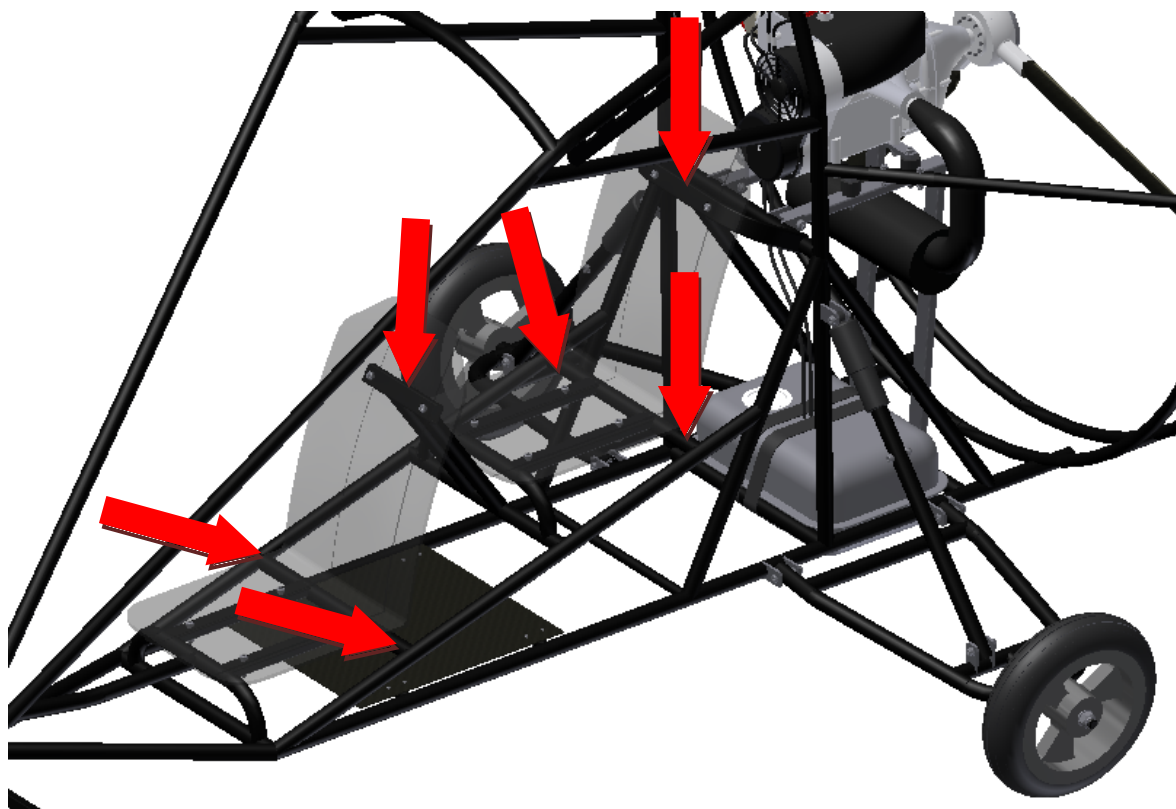
Obr. 3.3 Woodcomp TYP KLASSIC 150 [14]

3.4 Čtyřbodové pásy

Při výběru pásů je potřeba mít na paměti, že se jedná o bezpečnost a tudíž není na místě u tohoto produktu šetřit.



Obr. 3.4 Čtyřbodové pásy SPARCO [15]



Obr. 3.5 Uchycení pásů SPARCO

3.5 Podvozková kola

3.5.1 Zadní podvozková kola

U zadních podvozkových kol je výběr relativně snadný. Hlavní faktory, jež omezují výběr, jsou v první řadě nosnost a také hmotnost. V mém případě padl výběr na bantamová kola od firmy CONE Zlín s.r.o.

Kolečka bantamová s duší 4.00-8 250kg 3505.02



typ	mm	mm	disk		mm	dezen	plášť duše	PR	mm	kg	kg
3505.02	400	100	7105.03	GL	20	C 28	6005.05	6	76	2,76	250

Obr. 3.6 Kolečka bantamová s duší na Al disku [16]

3.5.2 Přední podvozkové kolo

Z bezpečnostních důvodů je u tříkolky použito přední kolo brzděné. K brzdění dochází za pomoci bubnové brzdy, která je přímo součástí kola. Brzdná síla se přenáší z brzdového pedálu za pomoci lanka na brzdové čelisti a dochází k brzdění.

Kolečka bantamová s duší 4.00-8 vč.brzdy 250kg 3505.03

typ	mm	mm	disk		mm	dezen	plášť duše	PR	mm	kg	kg
3505.03	400	100	7105.03	GL	20	C 01	6005.01	4	76	3,25	250

Zboží na objednávku.



Obr. 3.7 Kolečka bantamová s duší na Al disku brzděné [16]

4 Ergonomie podvozku

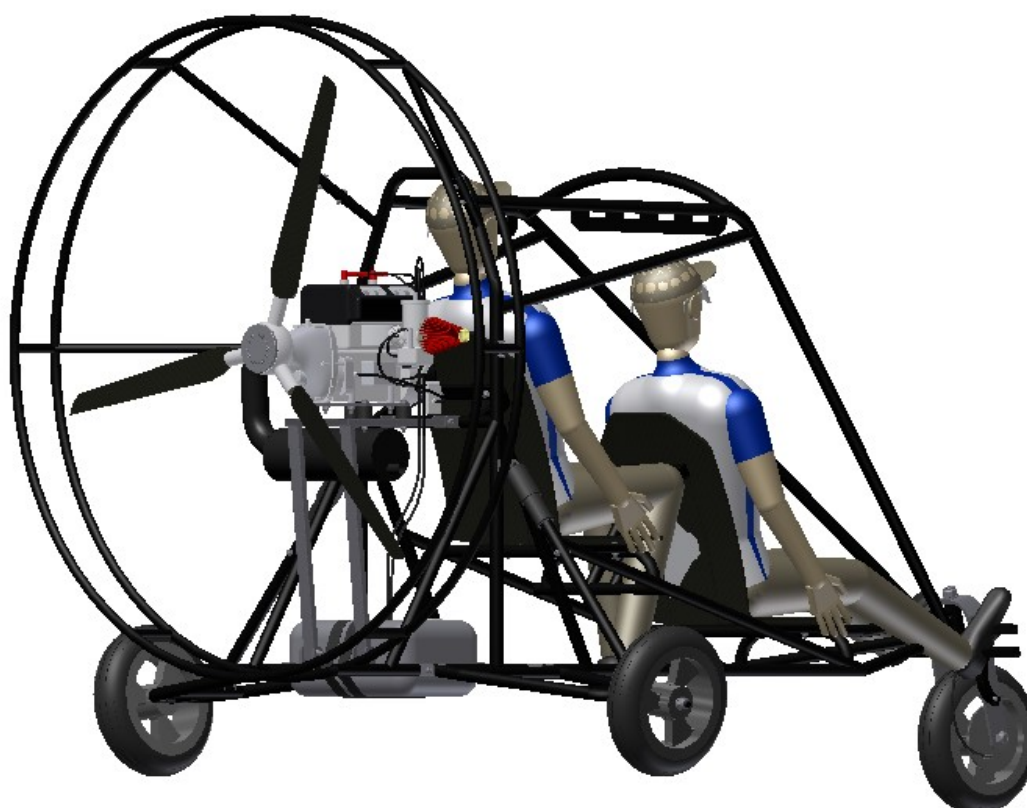
Tříkolka je navržena tak, aby zajišťovala dostatečné pohodlí a komfort pilotovi a jednomu pasažérovi. Dále bylo při konstrukci dbáno na splnění všech bezpečnostních předpisů. Závěsný podvozek je navržen pro osoby průměrného vzrůstu přibližně 180 cm. Veškeré tříkolky, které se vyrábí, se vždy uzpůsobují pilotovi a jeho vzrůstu.



Obr. 4.1 Navržený závěsný podvozek i s posádkou



Obr. 4.2 Navržený závěsný podvozek i s posádkou



Obr. 4.3 Navržený závěsný podvozek i s posádkou

5 Pevnostní průkaz podvozku MPG

Všechny níže popsané zkoušky jsou simulovány v programu ANSYS Workbench 14.0 a to přesně dle požadavků popsaných v příručce UL 2část V.

V softwaru Autodesk Inventor Professional 2011 jsem vytvořil drátěný model celé konstrukce podvozku. Následně byly programu ANSYS Workbench 14 těmto čarám přiřazeny profily, materiály a tím vznikl výpočtový model. Mnou vytvořený výpočtový model se liší od skutečného modelu v několika detailech z důvodu zjednodušení výpočtu.

Při výrobě rámu podvozku jsem použil dva materiály a to ocel a slitinu hliníku.

Tab. 3 Materiálové vlastnosti EN AW - 2024 - T6

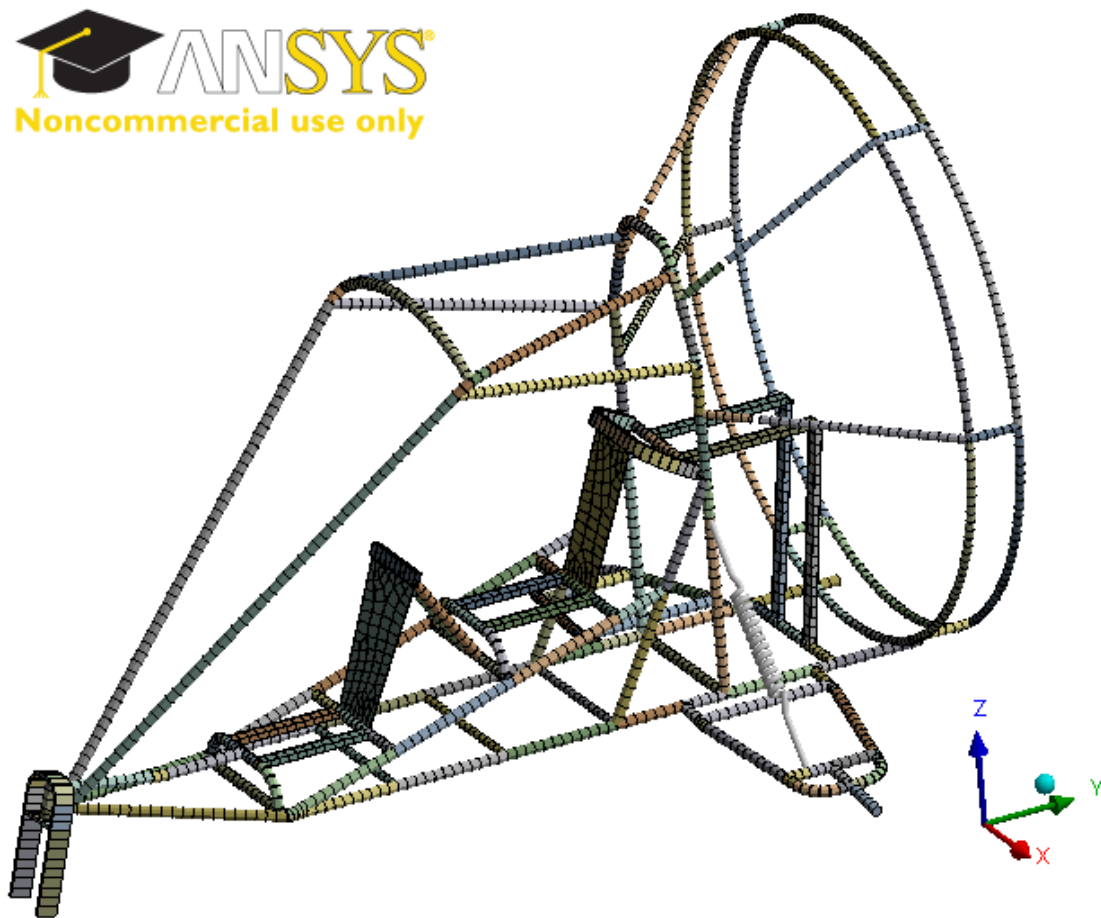
Hustota	2,710 g/cm ³
Youngův modul	68,900 GPa
Poissova konstanta	0,330
Mez kluzu v tahu	285,000 MPa
Mez pevnosti v tahu	310,000 MPa
Tepelná vodivost	167,000 W/(m K)
Délková roztažnost	23,600 microm/(m c)
Měrné teplo	1,256 J/(g c)

Tab. 5.4 Materiálové vlastnosti Ocel 12 010.0

Hustota	7,840 g/cm ³
Youngův modul	200,000 GPa
Poissova konstanta	0,287
Mez kluzu v tahu	295,000 MPa
Mez pevnosti v tahu	450,000 MPa
Tepelná vodivost	47,000 W/(m K)
Délková roztažnost	12,000 microm/(m c)
Měrné teplo	0,420 J/(g c)



Obr. 5.1 Zjednodušený model pro výpočet

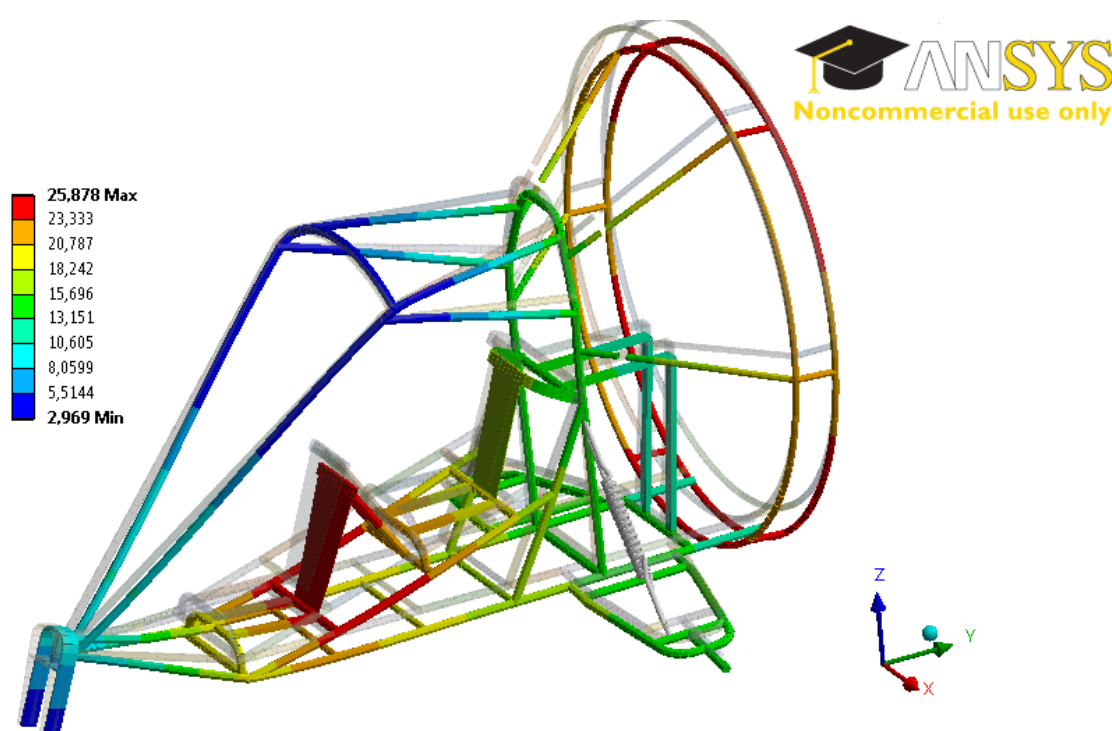


Obr. 5.2 Síť konečných prvků

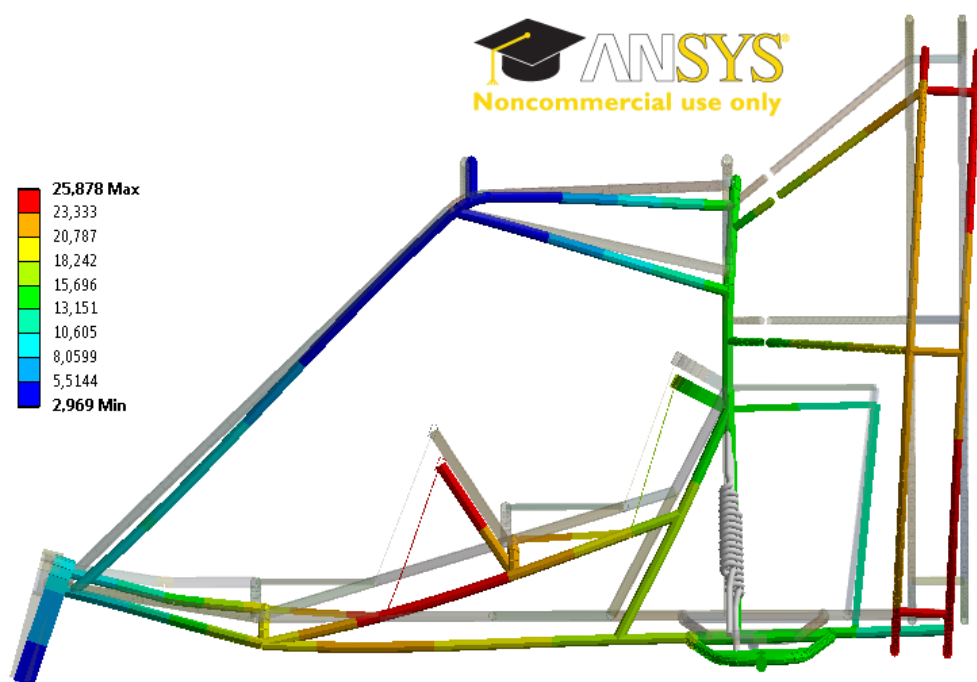
5.1 Hlavní podvozek

a) Napětí a deformace během letu

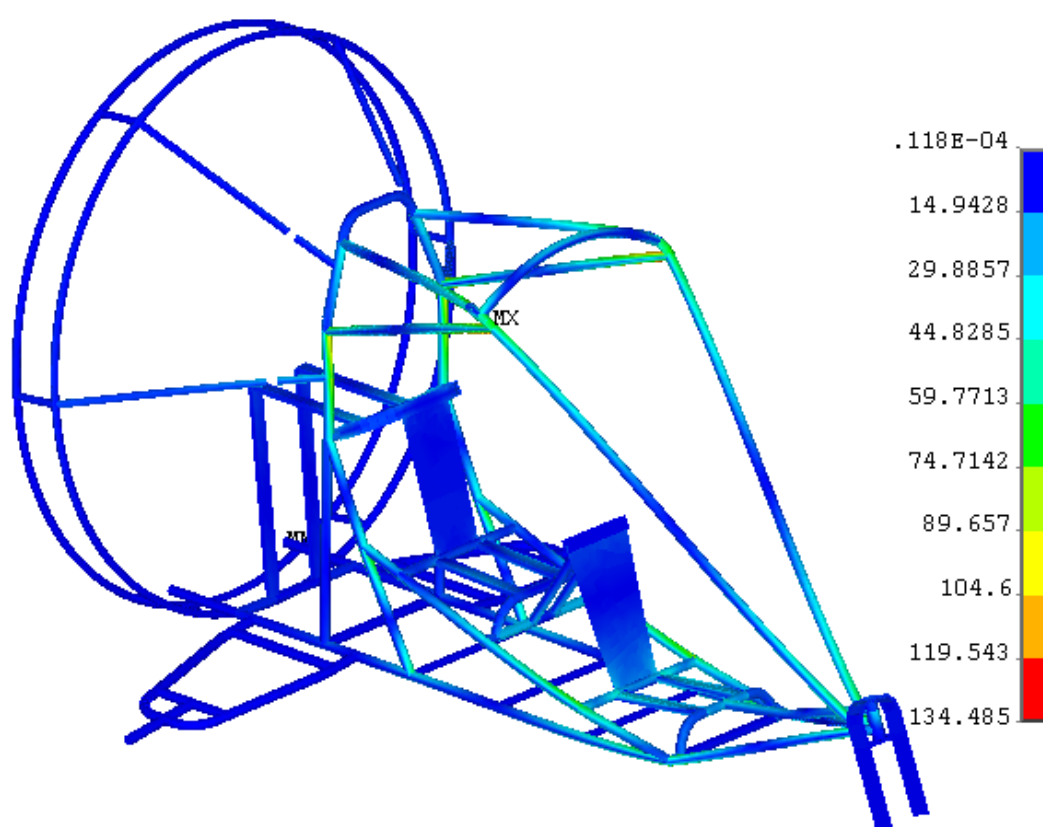
Během této zkoušky jsou simulovány situace, které nastávají během letu. Podvozek je zavěšen pomocí poutacího zařízení. Na podvozek působí síla vyvozená vlastní tíhou celého podvozku a posádky.



Obr. 5.3 Maximální deformace při zkoušce [mm]



Obr. 5.4 Maximální deformace při zkoušce [mm]

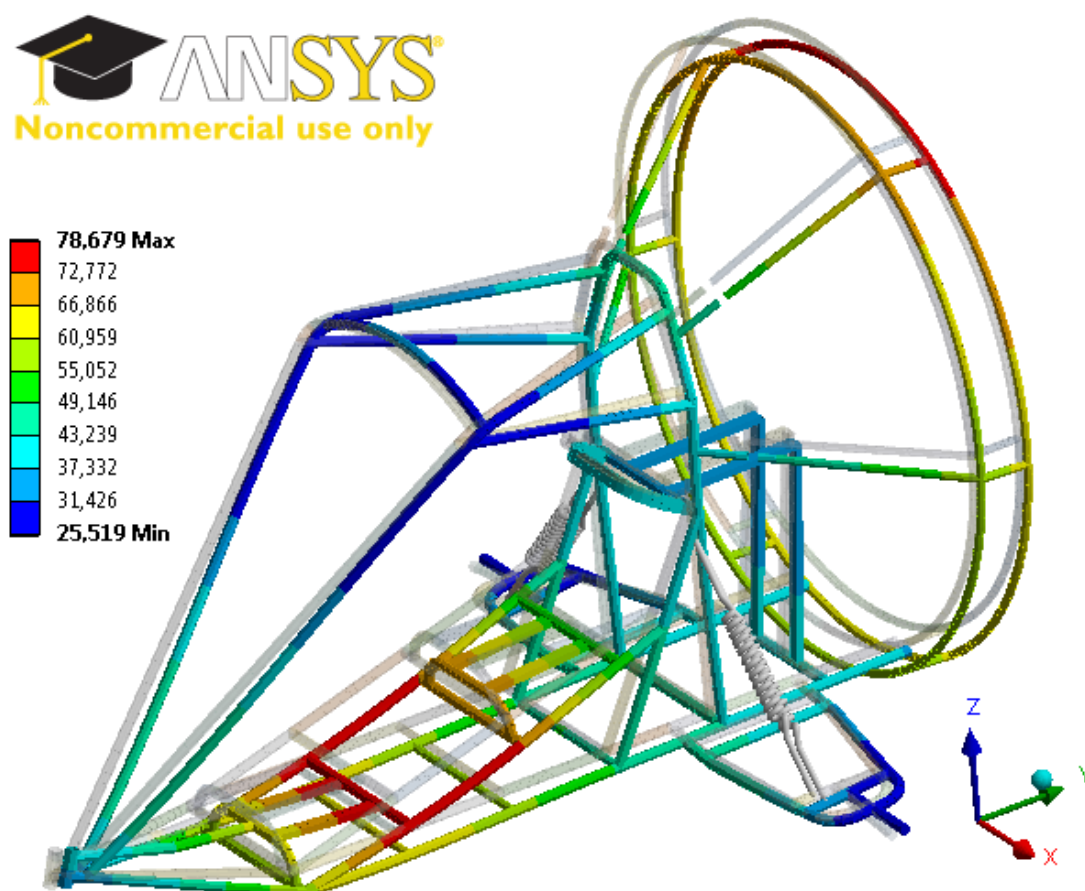


Obr. 5.5 Zobrazení max. napětí [MPa]

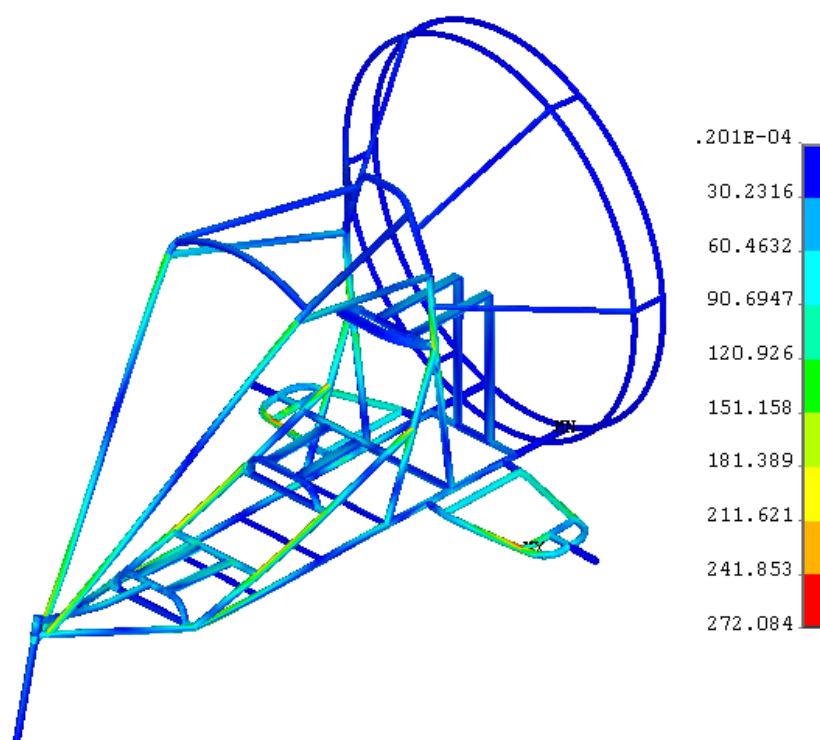
b) Vertikální přistávací ráz

Hlavní podvozek musí bez poškození snést vertikální ráz při pádové rychlosti 2,0 m/s nebo musí snést bez poškození statické zatížení 4 g. [17]

Tato zkouška má simulovat nadměrné přetížení podvozku při přistání, které by mohlo nastat v případě vysazení motorové jednotky. V mém případě se jedná o simulaci statického zatížení 4g na rám podvozku.

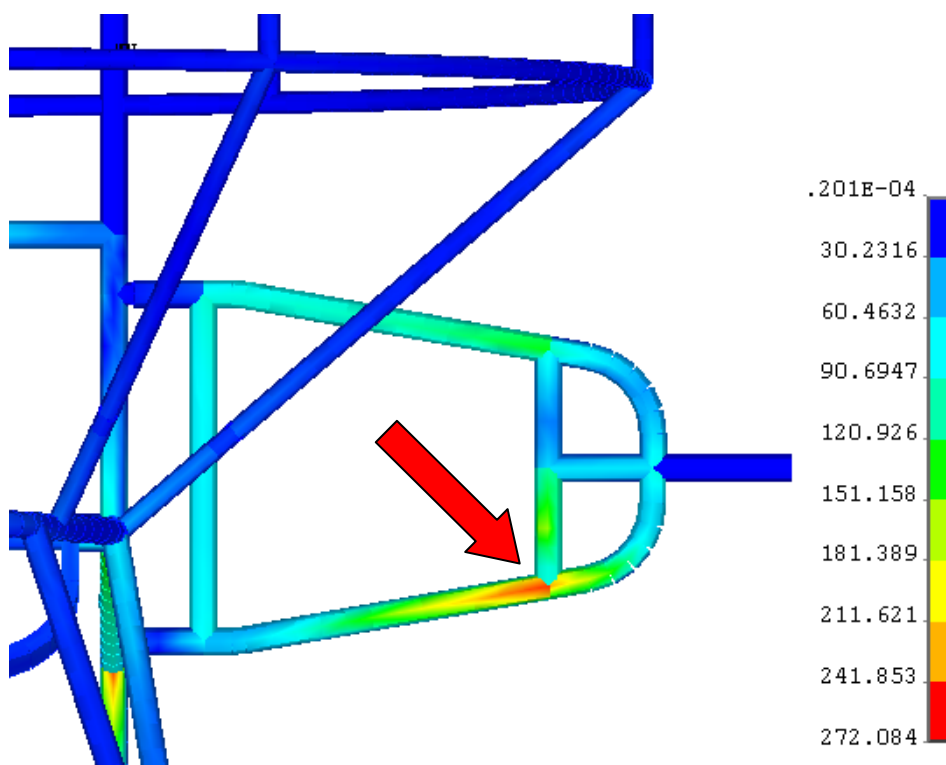


Obr. 5.6 Zobrazení max. deformace při vertikálním rázu [mm]



Obr. 5.7 Zobrazení max. napětí při vertikálním rázu [MPa]

Maximální napětí se během této zkoušky vyšplhalo na hodnotu 272,1MPa. Při dimenzování podvozku jsem se snažil navrhnout celou konstrukci tak, aby tříkolka splnila potřebné požadavky, ale zároveň byla co možná nejlehčí. Nejkritičtější místo je zobrazeno na Obr. 5. 8.

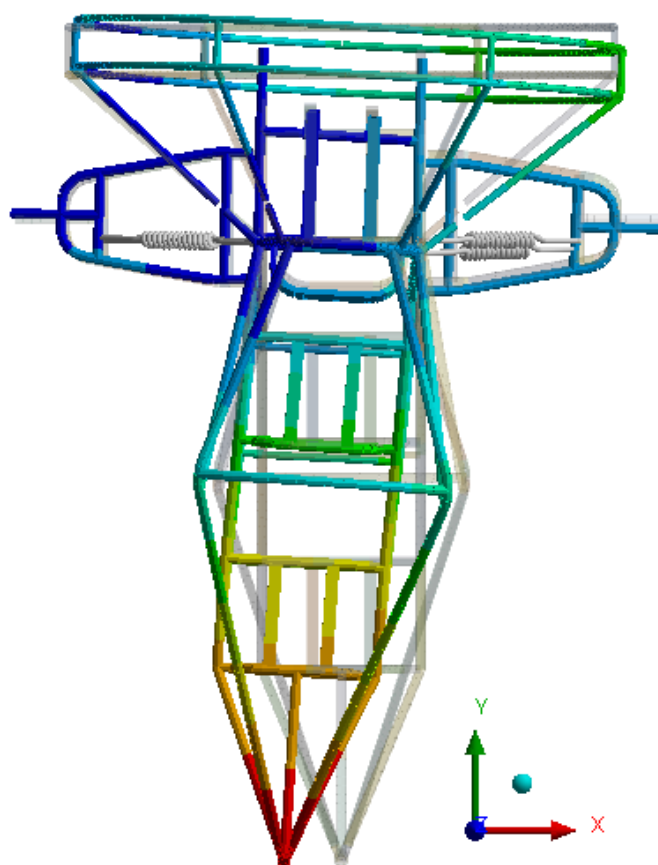
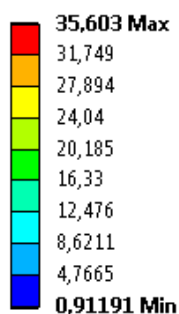


Obr. 5.8 Zobrazení místa s největší hodnotou napětí při vertikálním rázu [MPa]

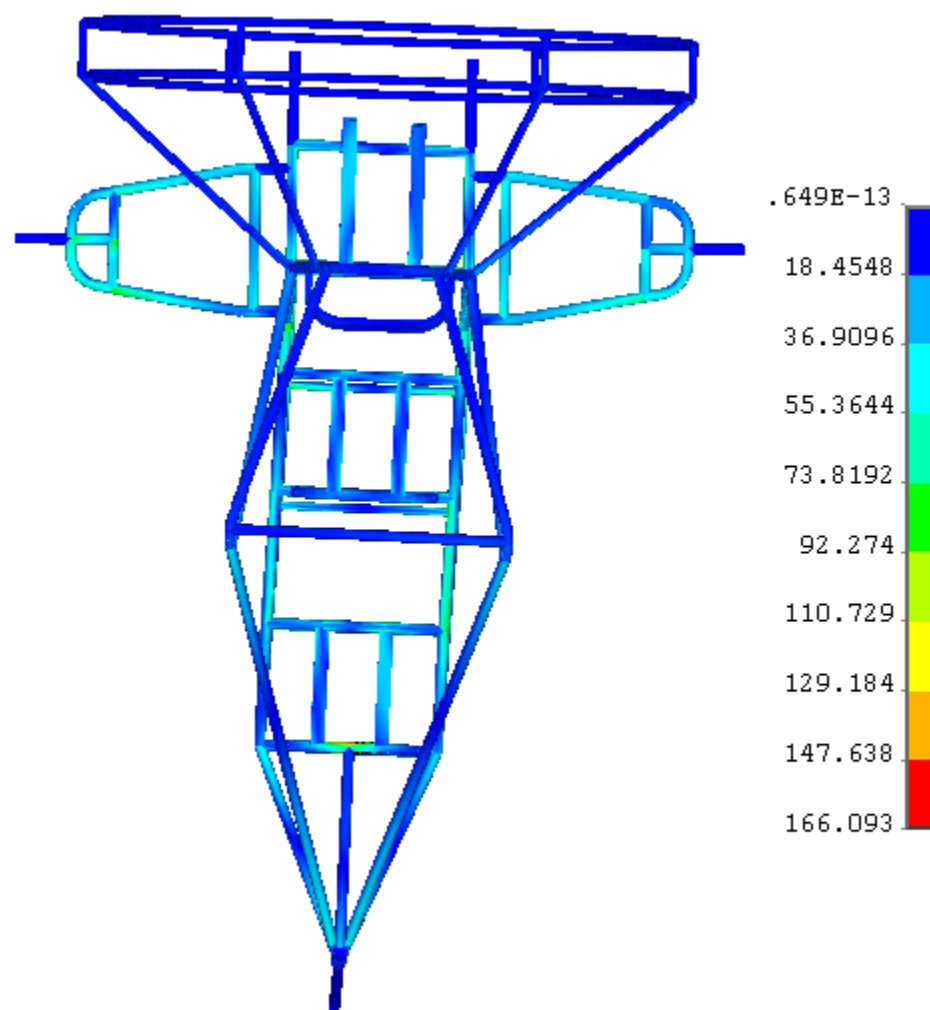
c) Boční zatížení podvozku

Pro určení bočního zatížení podvozku se předpokládá, že letoun je ve vodorovné poloze, kdy kola hlavního podvozku se dotýkají země a v těžišti letounu působí síla rovnající se $1,34g$, rovnoměrně rozdělena na hlavní kola. [17]

Zkouška se provádí z toho důvodu, že se při přistání nemusí vždy podvozek pohybovat v zcela přímém směru. Situace by mohla nastat v případě, že by při přistávacím manévru působil boční vítr.



Obr. 5.9 Zobrazení max. deformace při bočním zatížení podvozku [mm]



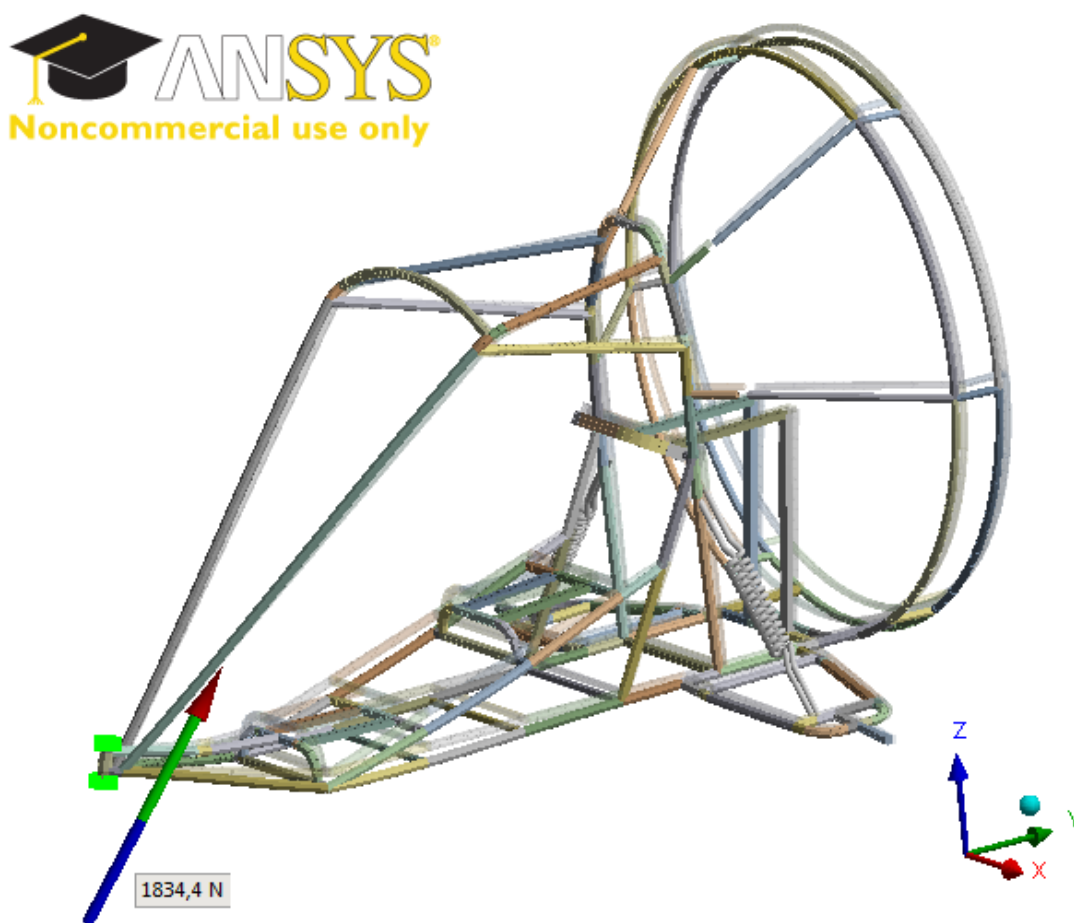
Obr. 5.10 Zobrazení max. napětí při bočním zatížení podvozku [MPa]

d) Brzdění

Touto zkouškou jsem zjišťoval, jak velká působí síla na přední kolo a zda je toto kolo schopno danou sílu přenést.

Musí být prokázáno, že brzděná kola podvozku vyhoví zatížení, kdy

1. svislé provozní zatížení na jedno kolo je 0,67 g,
2. vodorovné zatížení v místě dotyku kola se zemí je 0,54 g směrem dozadu. [17]



Obr. 5.11 Reakce působící na přední kolo při brzdění [N]

Reakční síla působící na přední kolo při brzdění má velikost $F_r = 1834,4\text{N}$. Sílu jsem zjednodušeným způsobem převedl na hmotnost dle převodového poměru.

$$m = F_r \cdot 0,102 = 1834,4 \cdot 0,102 = 187,57\text{Kg}$$

Dle tabulkové hodnoty na Obr. 3.7 má kolo maximální nosnost 250Kg.

5.2 Předřový podvozek

Předřový podvozek musí bez poškození snést následující současně působící složky síly:

1. svislá složka zatížení odpovídající 1,5 násobku hodnoty statického zatížení kola,
2. odporová složka zatížení odpovídající 0,5 násobku svislého zatížení,
3. boční složka zatížení odpovídající 0,5 násobku svislého zatížení. [17]

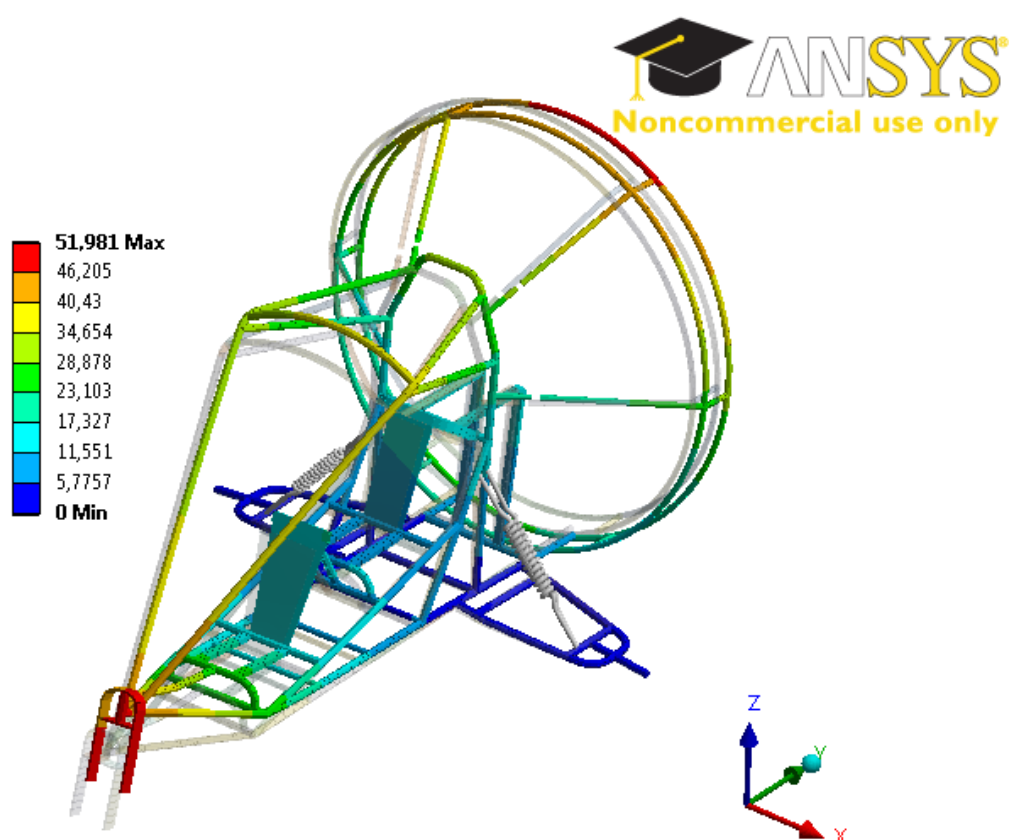
Statická reakce působící na kolo

$$F_s = 658N$$

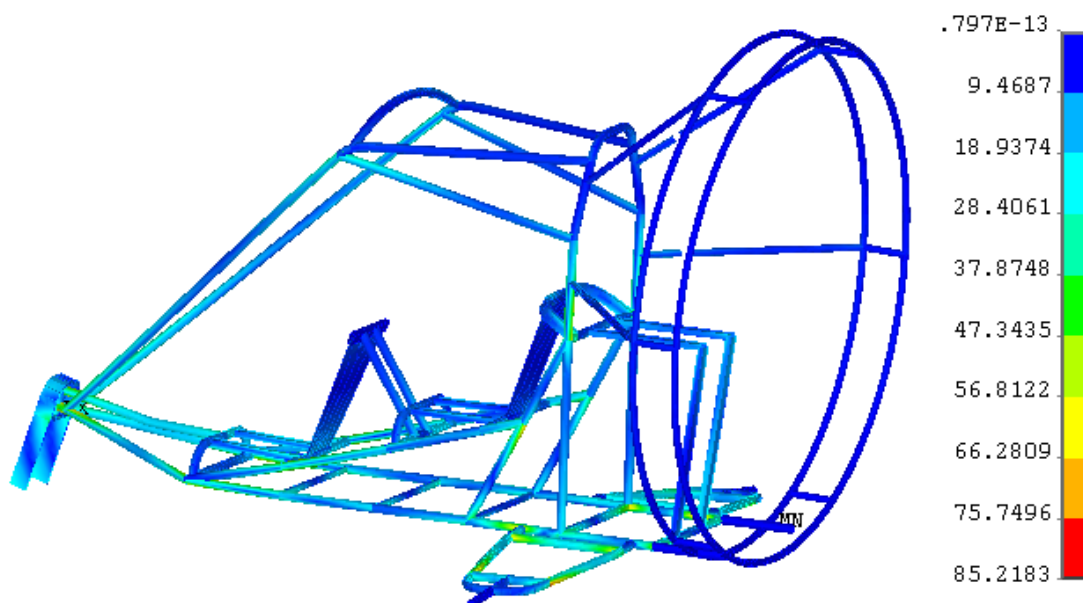
Jednotlivé složky sil

$$F_1 = 1,5 \cdot 658 = 987N$$

$$F_2 = F_3 = 0,5 \cdot 658 = 329N$$



Obr. 5.12 Zobrazení max. deformací při zkouškách předřového podvozku [mm]



Obr. 5.13 Zobrazení max. zatížení při zkouškách předového podvozku [MPa]

5.3 Zhodnocení zkoušek

Během zkoušek nedošlo ani jednou k překročení meze kluzu materiálu. Tříkolka by měla bez sebemenších problémů projít všemi nedestruktivními zkouškami. K největšímu zatížení dojde při zkoušce vertikálního rázu, kdy by se mělo maximální zatížení vyšplhat až na hodnotu 272,1 MPa, ale ani zde nedojde k překročení meze kluzu $R_e = 275\text{MPa}$.

6 Destruktivní zkoušky podvozku MPG

Níže popsané zkoušky se během technické kontroly MPG nikterak nekontrolují, ale žadatel musí komisi dokázat výpočtem nebo počítačovou simulací, že je podvozek schopen následující podmínky splnit.

Pevnostní spoje MPG musí být navrženy tak, aby pilot při nouzovém přistání unikl s velkou pravděpodobností těžkým zraněním, pokud na pilota působí následující početní zrychlení.

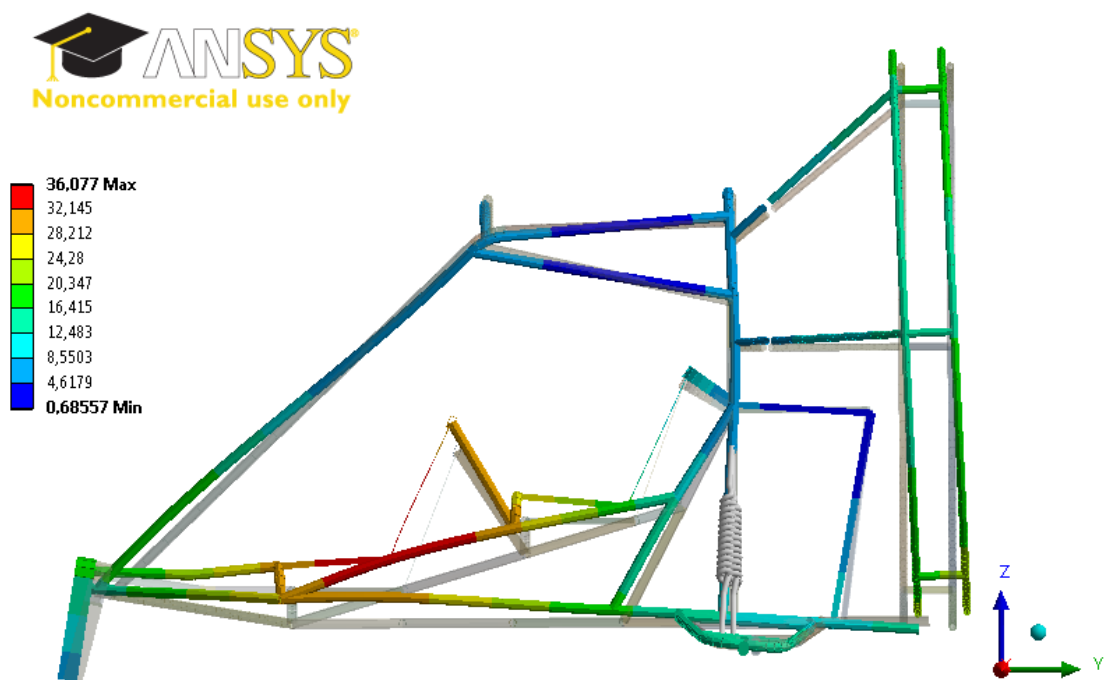
1. nahoru 3g
2. do boku 1,5g
3. dolů 6g

Veškerá zatížení jsou vztahována k místům uchycení bezpečnostních pásů. Hmotné body simulují hmotnost člověka, který je připoután bezpečnostními pásy.

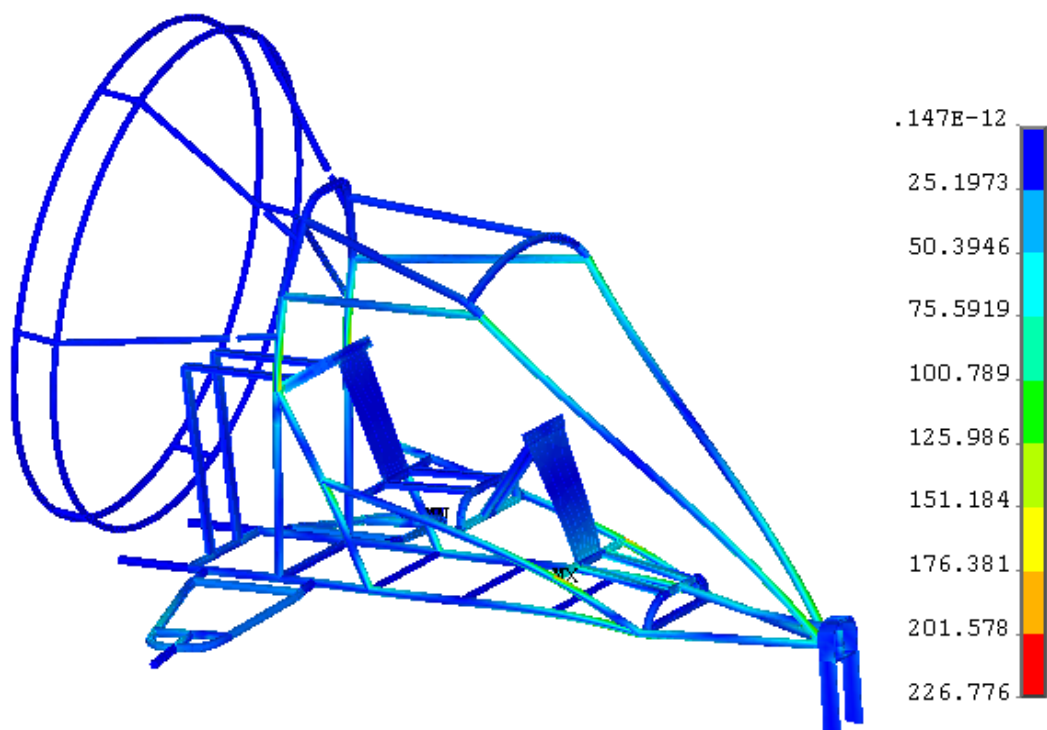


Obr. 6.1 Zobrazení hmotných bodů simulujících hmotnost posádky

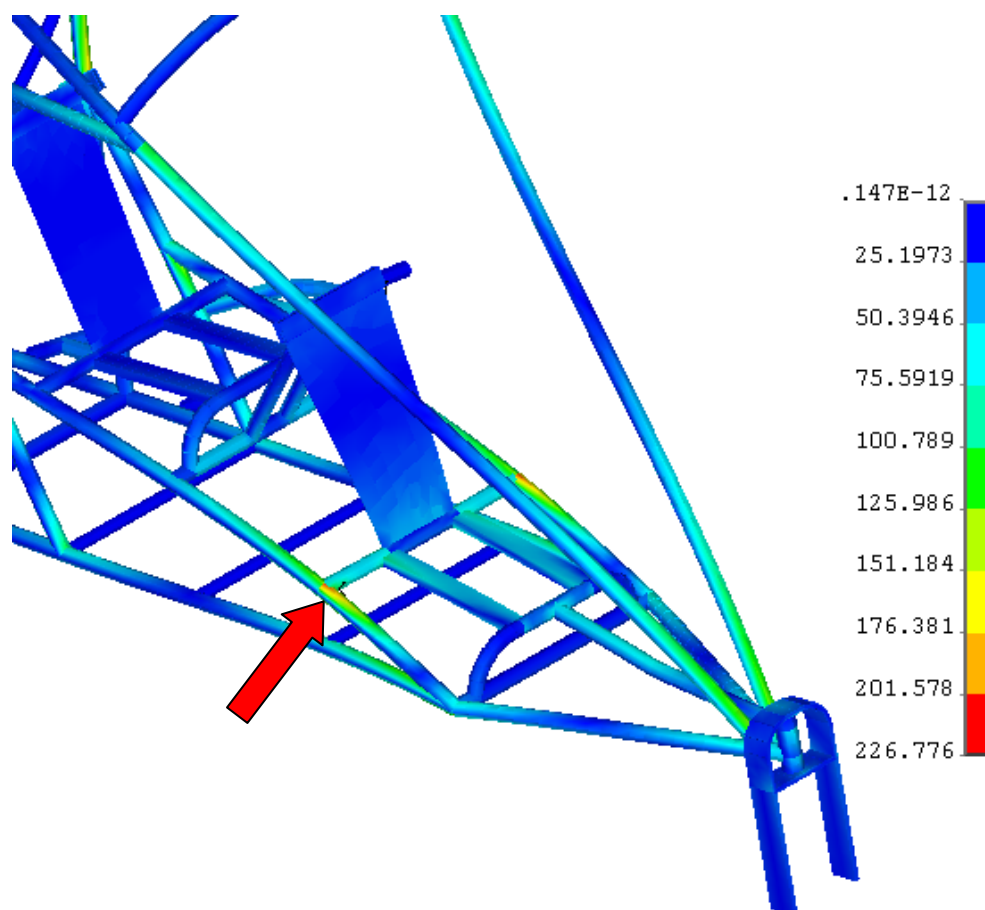
6.1 Na pilota působí přetížení 3g směrem nahoru



Obr. 6.2 Zobrazení max. deformací při působení přetížení 3g směrem nahoru [mm]

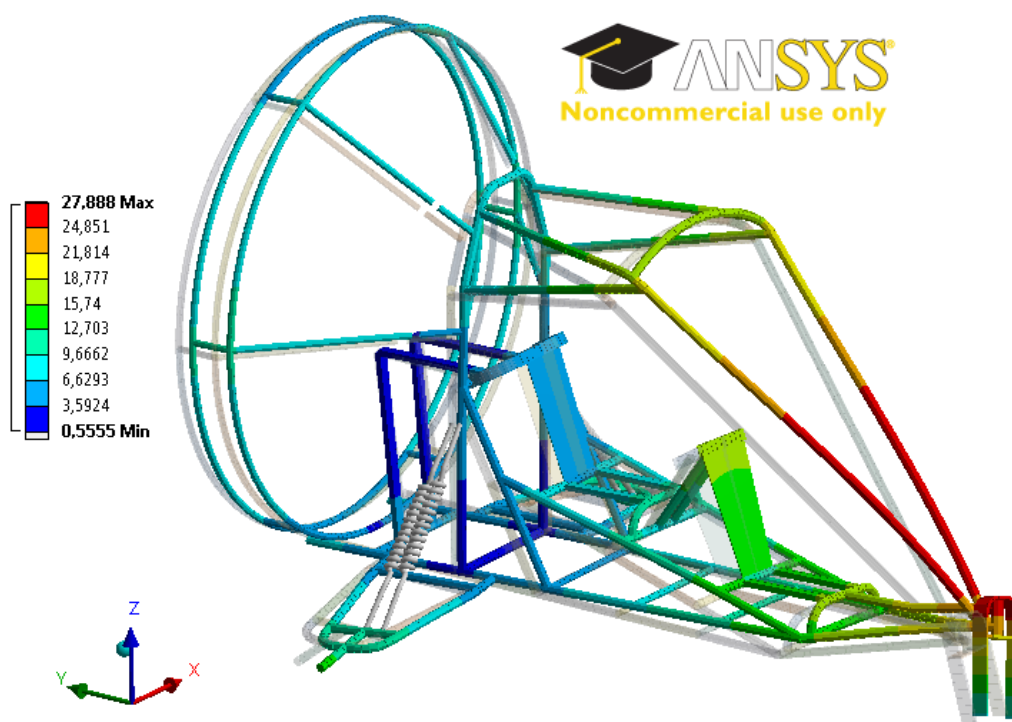


Obr. 6.3 Zobrazení max. zatížení při působení přetížení 3g směrem nahoru [MPa]

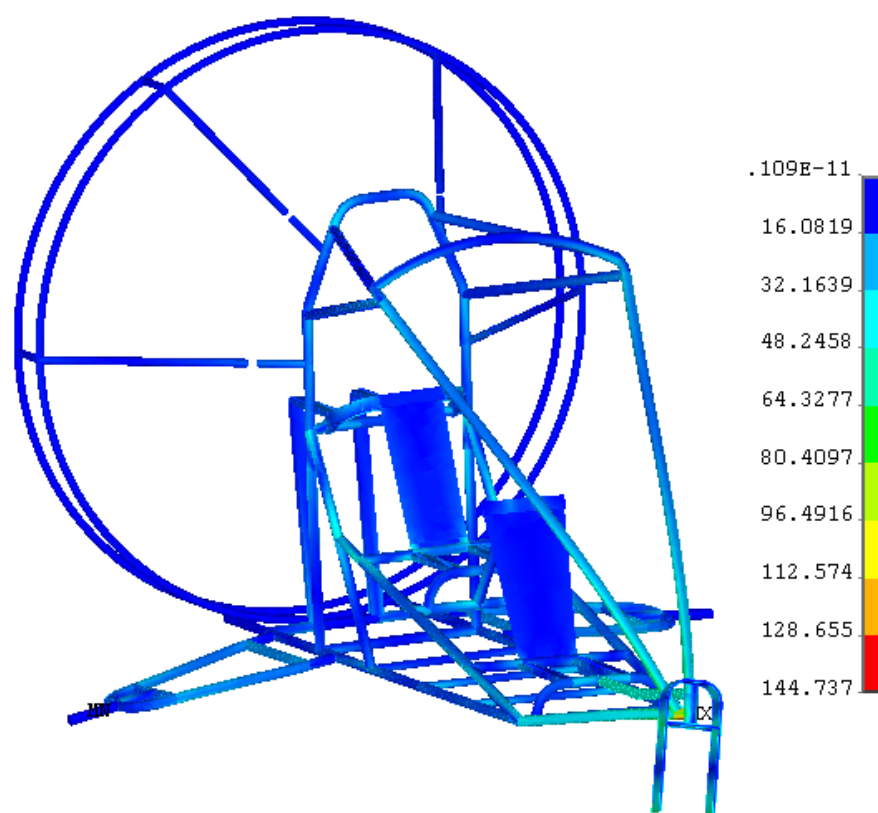


Obr. 6.4 Zobrazení nejvíce namáhaného místa při působí přetížení 3g směrem nahoru [MPa]

6.2 Na pilota působí přetížení 1,5g do boku

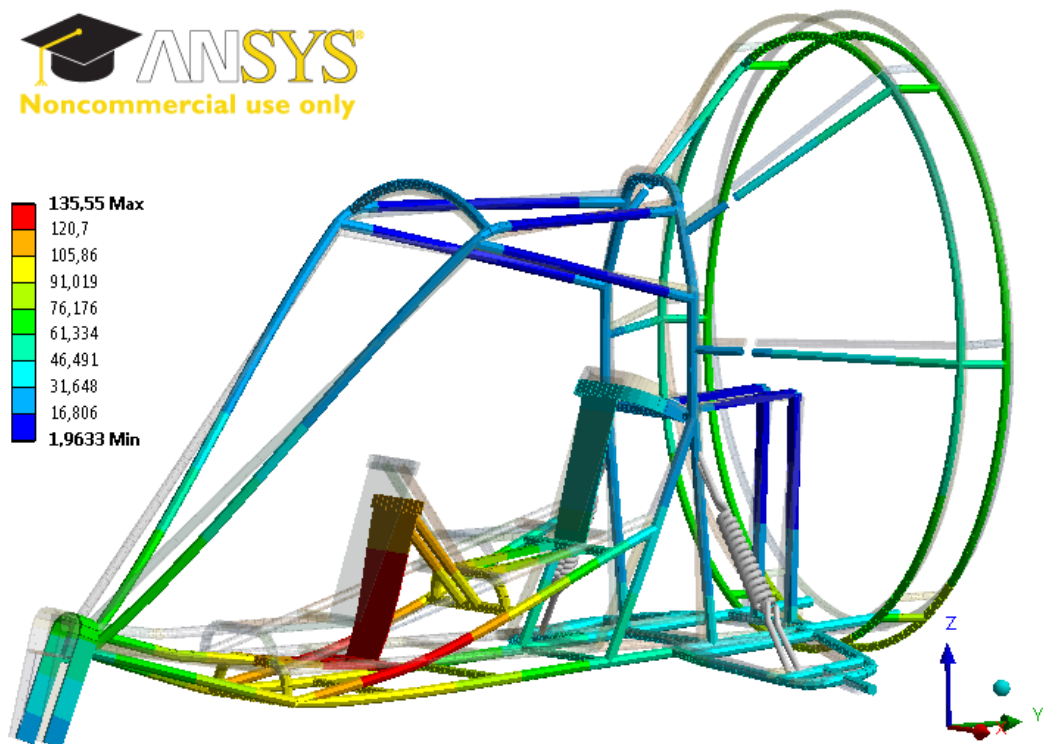


Obr. 6.5 Zobrazení max. deformací při působení přetížení 1,5g směrem do boku
[mm]

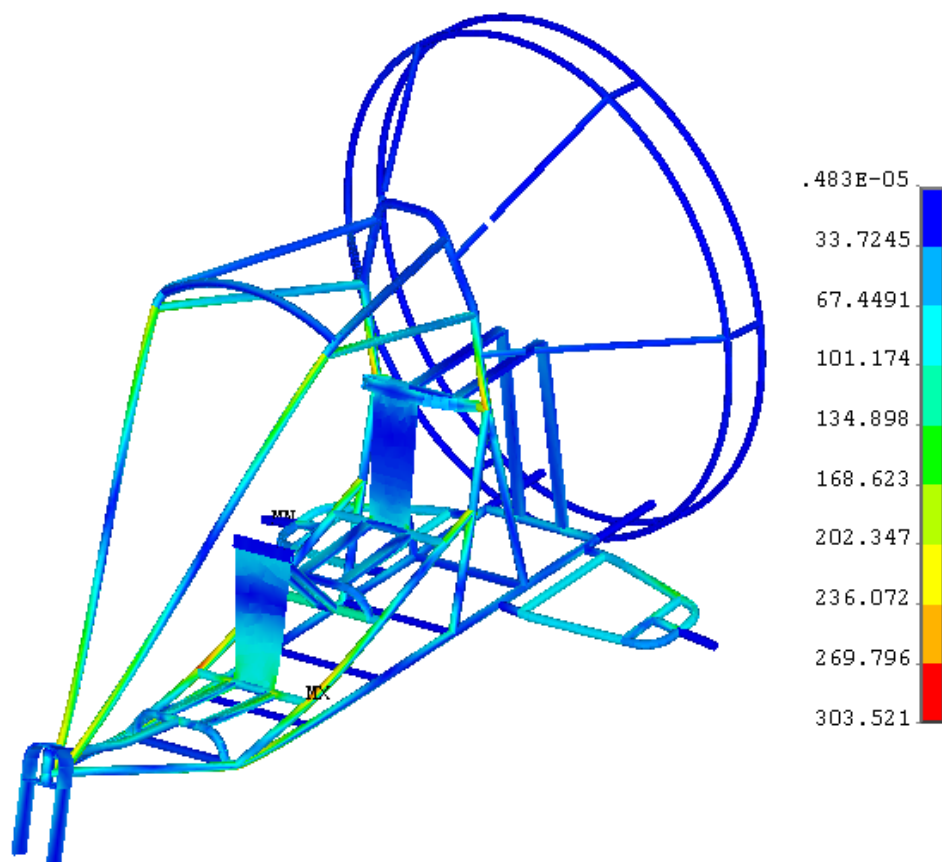


Obr. 6.6 Zobrazení max. zatížení při působení přetížení 1,5g směrem do boku
[MPa]

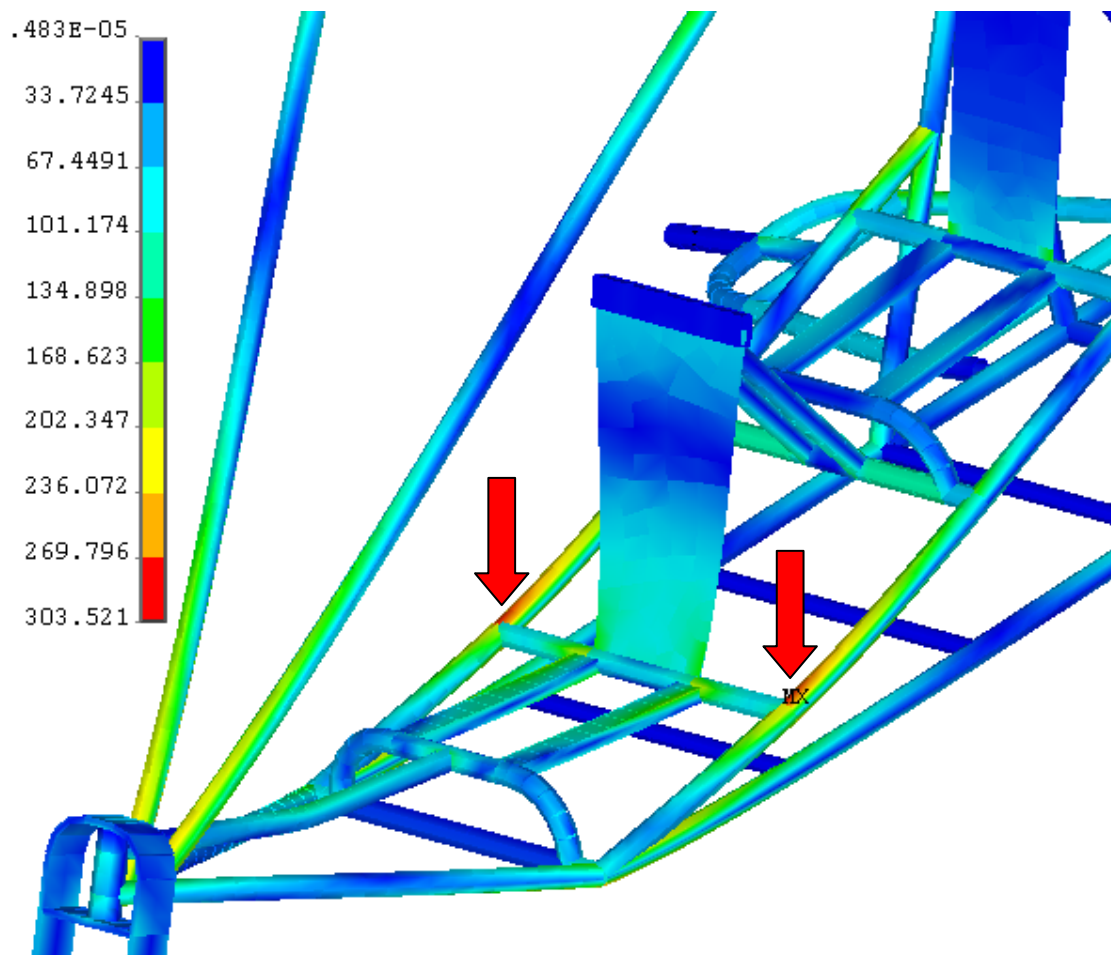
6.3 Na pilota působí přetížení 6g dolů



Obr. 6.7 Zobrazení max. deformací při působení přetížení 6g směrem dolů [mm]



Obr. 6.8 Zobrazení max. zatížení při působení přetížení 6g směrem dolů [MPa]



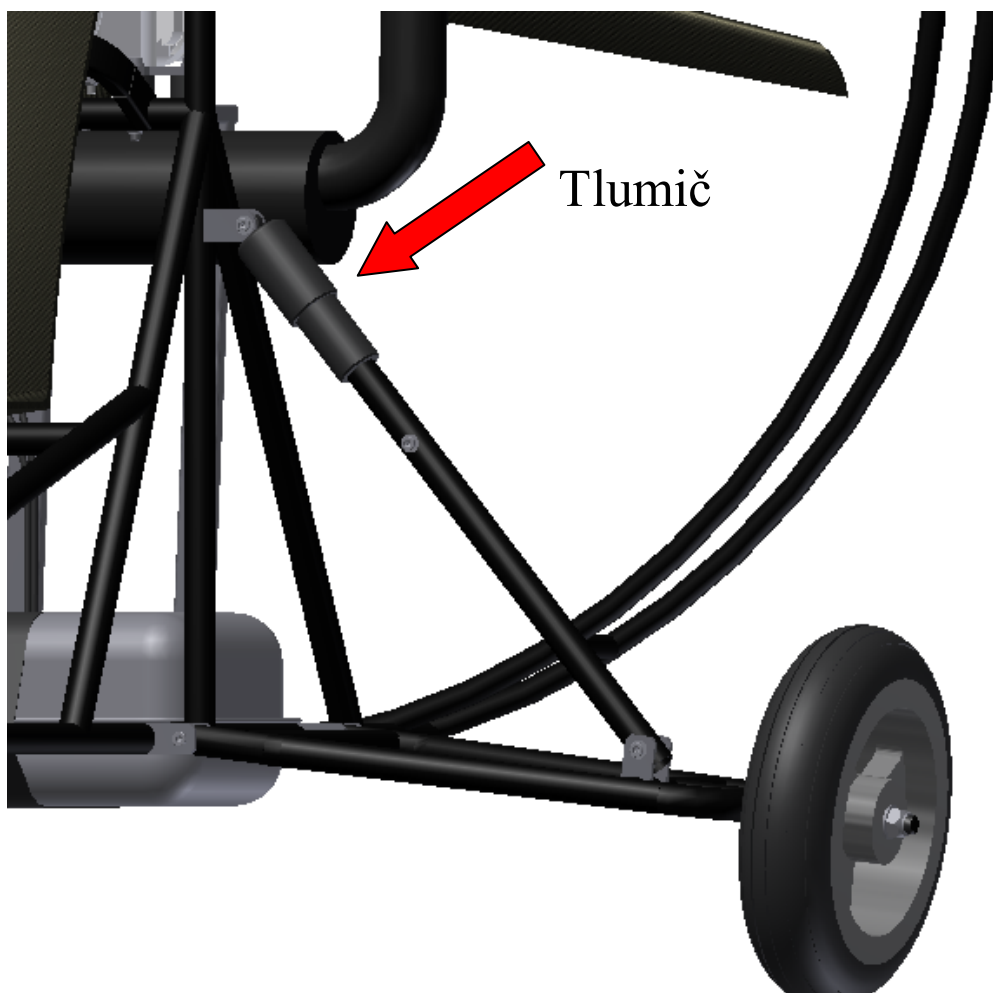
Obr. 6.9 Místa s největším zatížením při působení přetížení 6g směrem dolů [MPa]

6.4 Zhodnocení zkoušek

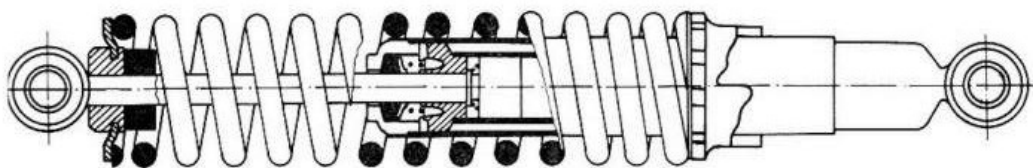
Během destruktivních zkoušek už došlo k překročení meze kluzu materiálu, tudíž by vznikly na podvozku trvalé deformace. Ani v jednom případě však nebyla překročena mez pevnosti materiálu. Dle výsledků jednotlivých zkoušek se domnívám, že by v žádném případě nedošlo k ohrožení života posádky vlivem nedostatečné tuhosti konstrukce podvozku.

7 Návrh pružiny a tlumiče hlavního podvozku MPG

Pro zajištění pohodlí jsem zvolil variantu, kdy je zadní náprava podvozku odpružená a tudíž by měl být, jak start, tak i přistání klidnější a komfortnější. Dosednutí podvozku na zem je odvíjí hlavně od schopností pilota a povrchu, na který tříkolka dosedá. MPG může přistávat i startovat ze zpevněného povrchu, ale i z polních cest a travnatých ranvejí. Pro návrh a výpočet tlumiče a pérování jsem stanovil rychlost dopadu $v_d = 0,4 \text{ m/s}$. Při této rychlosti dopadu se jedná už spíš o tvrdší přistání, ale samozřejmě platí, že čím je rychlost dopadu nižší, tím jsou tlumiče méně potřebné.



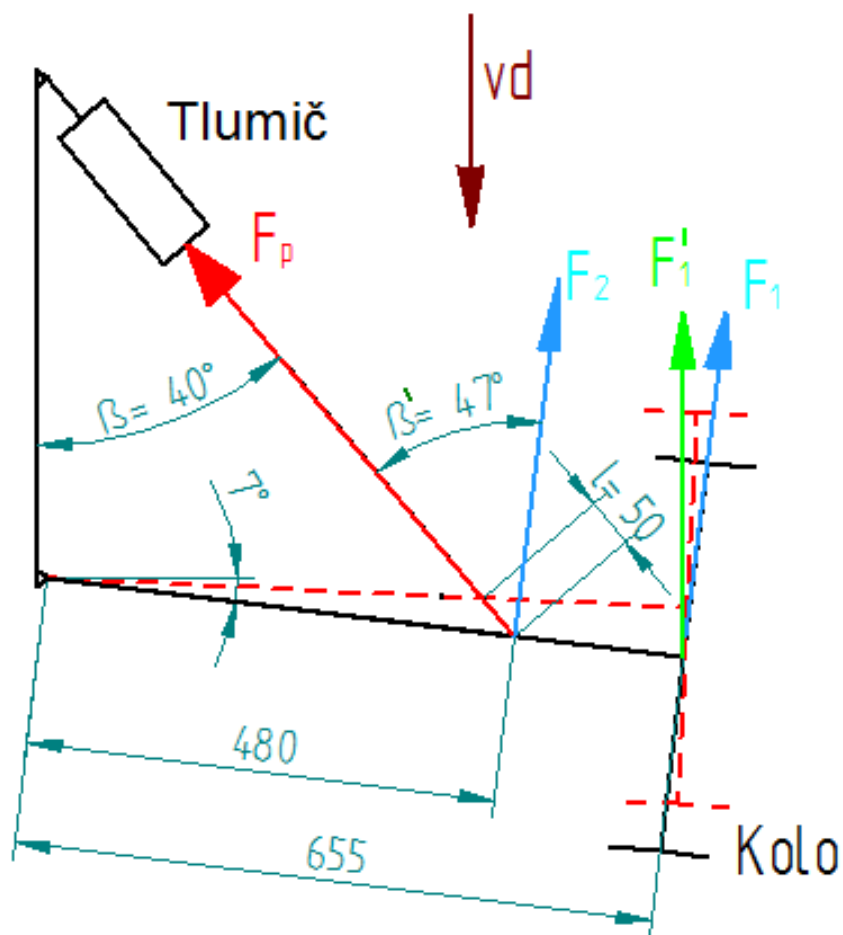
7.1 Konstrukční řešení uchycení tlumiče



7.2 Schéma tlumiče [18]

7.1 Výpočet tuhosti pružiny

Úkolem tohoto výpočtu je návrh pružiny, jež bude mít dostatečnou tuhost, aby pohltila všechny síly působící při přistání, ale zároveň aby nedošlo ke stlačení až na doraz.



7.3 Schéma rozložení sil v ramenu podvozku MPG

$g = 9,81m/s^2$ - tíhové zrychlení

$\Delta l = 70mm$ - maximální stlačení pružiny

$m = 350Kg$ - hmotnost podvozku

Reakce při dopadu kolmá k zemi F_1'

$$m_1 = \frac{m}{2} = \frac{350}{2} = 175kg$$

$$F_1' = m_1 \cdot g = 175 \cdot 9,81 = 1716,8N$$

Reakce při dopadu kolmá na rameno F_1

$$\cos 7^\circ = \frac{F_1'}{F_1} \rightarrow F_1 = \frac{F_1'}{\cos 7^\circ} = \frac{1716,8}{\cos 7^\circ} = 1729,7N$$

Reakce při dopadu v místě uchycení tyče tlumiče F_2

$$F_2 \cdot 480 = F_1 \cdot 655 \rightarrow F_2 = \frac{F_1 \cdot 655}{480} = \frac{1729,7 \cdot 655}{480} = 2360,3N$$

Výpočet síly v pružině F_p

$$\cos \beta' = \frac{F_2}{F_p} \rightarrow F_p = \frac{F_2}{\cos \beta'} = \frac{2360,3}{\cos 47^\circ} = 3460,9N$$

Zdvih pružiny využijeme na 70%.

$$l = \Delta l \cdot 0,7 = 70 \cdot 0,7 \cong 50mm$$

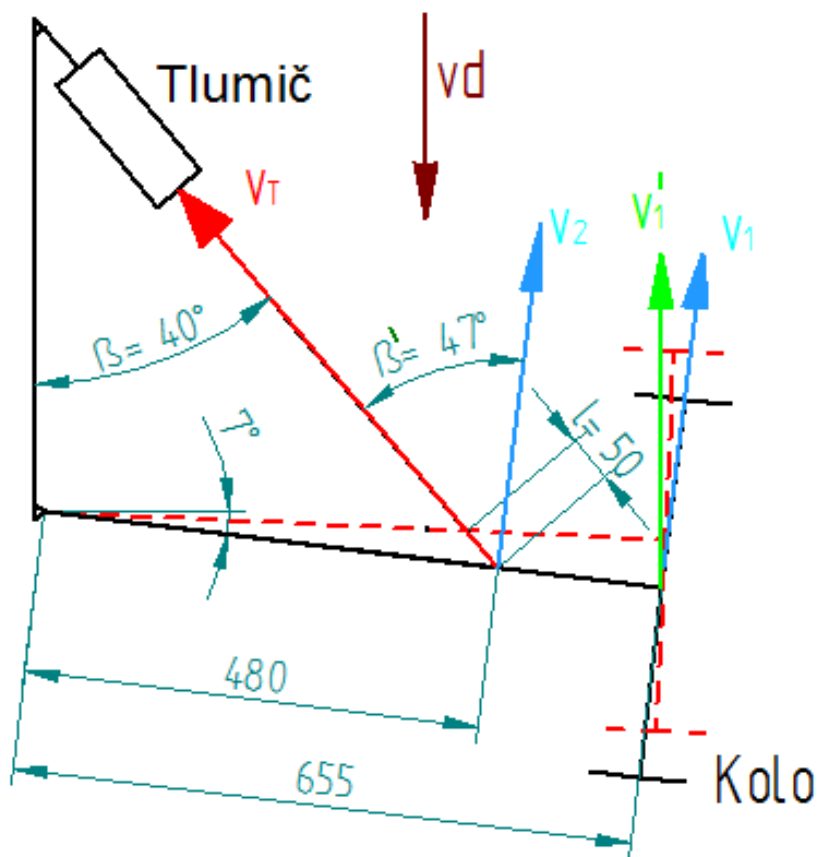
Tuhost pružiny

$$c_p = \frac{F_p}{l} = \frac{3460,9}{50} = 69,2N/mm$$

Výpočtem jsem určil, že pružiny musí mít tuhost $c_p = 69,2N/mm$.

7.2 Návrh tlumiče

Druhá část výpočtu se zabývá návrhem tlumiče. Tlumič musí zabránit odskakování podvozku a tím zvýšit komfort při startu a přistání.



7. 4 Schéma rozložení rychlostí v ramenu podvozku MPG

$v_d = 0,4 \text{ m/s}$ - rychlost dopadu

Rychlost kola rovnoběžně s v_d

$$v_1' = v_d \rightarrow v_1' = 0,4 \text{ m/s}$$

Rychlost kola kolmo na rameno

$$\cos 7^\circ = \frac{v_1'}{v_1} \rightarrow v_1 = \frac{v_1'}{\cos 7^\circ} = \frac{0,4}{\cos 7^\circ} = 0,403 \text{ m/s}$$

Rychlost v místě uchycení tyče tlumiče

$$\frac{v_2}{480} = \frac{v_1}{655} \rightarrow v_2 = \frac{v_1 \cdot 480}{655} = \frac{0,403 \cdot 480}{655} = 0,3 \text{ m/s}$$

Rychlost stlačování tlumiče

$$v_t = \frac{v_2}{\cos \beta} = \frac{0,3}{\cos 47^\circ} = 0,433 \text{ m/s}$$

Tlumič musí při pístové rychlosti $v_t = 0,433 \text{ m/s}$ ztlumit sílu $F_p = 3460,9 \text{ N}$. Volím $F_r = F_s \rightarrow$ symetrické naladění útlumových sil.

Jako dodavatele tlumičů jsem vybral firmu HP sporting, která je schopna upravit své stávající tlumiče na mnou vypočtené požadavky.



7.5 Tlumiče značky HP sporting [19]

8 Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout motorový padákový kluzák s podvozkem pro dvě osoby.

V úvodu jsem nahlédl do historie paraglidingu a přiblížil pojem motorové létání. Uvedl jsem jednotlivé typy pomocných motorů a popsal jejich části.

Dále popisuji výběr jednotlivých komponentů, jejichž rozměry jsou potřebné pro návrh podvozku. Část diplomové práce také věnuji ergonomii a dokazování, že pilot i pasažér mají dostatek místa a pohodlí.

Pomocí simulací MKP jsem provedl statickou kontrolu podvozku. Všechny simulace jsou provedeny přesně podle předpisů UL 2 část V. Zkoušky se dělily na destruktivní a nedestruktivní. Při zkouškách destruktivních už došlo k překročení meze kluzu, ne však meze pevnosti. Dle výsledků jednotlivých simulací by podvozek bez komplikací technickou prohlídkou prošel.

V poslední části jsem se věnoval návrhu tlumičů hlavního podvozku. Výpočet se skládal z návrhu pružiny a následně tlumiče. Po zjištění potřebných dat jsem vybral vhodného dodavatele tlumičů a pérování.

Hmotnost závěsného podvozku se vyšplhala na hodnotu téměř 99 kg. Nosnost vybraného padáku je 310 kg, což znamená, že hmotnost posádky může činit až 211 kg. Tříkolka je konstrukčně velmi jednoduchá a je schopen ji postavit i zručný kutil ve své garáži.

9 Seznam použité literatury

- [1] Paragliding: Akrobatický paragliding. [online]. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://www.im-salzkammergut.at/veranstaltungen-en-US/obertraun/acrojam-2014-in-obertraun>
- [2] Paragliding: Historie paraglidingu a výroby vybavení. [online]. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://www.elspeedo.cz/Article.aspx?NodeID=1000304&ID=1001489>
- [3] Leonardo da Vinci: Myšlenka padáku. [online]. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Pad%C3%A1k#mediaviewer/Soubor:Leonardo_da_Vinci_parachute_04659a.jpg
- [4] Parasailing: Vlečný padák. [online]. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://www.tunisko.com/fotky/tunis-plaze-6.jpg.html>
- [5] Paragliding: Svahový padák. [online]. [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.tandemak.cz/paragliding-jeseniky-orlicke-hory/>
- [6] Paragliding: Teoretické seznámení s paraglidingem. [online]. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: [http:// is.muni.cz/th/102431/fsps_b/BC-text.pdf](http://is.muni.cz/th/102431/fsps_b/BC-text.pdf)
- [7] MPG: Motorizovaný paragliding. [online]. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://www.nirvana.cz/nirvana-nucleon-cabrio-42>
- [8] MPG: AIRWOLF. [online]. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://www.powrachute.com/>
- [9] PPG: Para motor. [online]. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Synergy-paramotor.jpg>
- [10] PPG: Motorová krosna. [online]. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Motorov%C3%BD_paragliding
- [11] MPG: PEGAS. [online]. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://www.powrachute.com/>
- [12] Padák: NIRVANA NUCLEON CABRIO 42. [online]. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://www.nirvana.cz/nirvana-nucleon-cabrio-42/>

- [13] Letecké motory ROTAX: ROTAX 447. [online]. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://www.teveso.cz/letecke-motory-rotax.php?idSpecMenu=dvoutaktni#specToggleMenu>
- [14] Na zemi stavitelná vrtule: TYP KLASSIC 150. [online]. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://www.woodcomp.cz/en/klasic150.php>
- [15] Poutací pásy: Čtyřbodové pásy SPARCO. [online]. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://tuning.autodoplnky.cz/sedadla-sparco/sportovni-pasy/sparco-uni-sportovni-ctyr-bodove-pasy-upevneni-sro-s22354343/?h=1>
- [16] Kola Nafukovací: Kolečka bantamová s duší na Al disku. [online]. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: http://www.conezlin.cz/CZ/kola-nafukovaci-s-pneumatikami/kolecka-bantamova-s-dusi-al-disk-serie-3500/?rubrika_zbozi=63
- [17] UL 2 část V.: Požadavky letové způsobilosti SLZ. [online]. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://www.laacr.cz/Stranky/Default.aspx>
- [18] Řez tlumičem: JAWA 350. [online]. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://jenikovo.wz.cz/upravy/24.htm>
- [19] HP sporting: Dvouplášťové tlumiče. [online]. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://www.hpsporting.cz/foto/Off%20roud%20sport.jpg>

POUŽITÝ SOFTWARE

1) Autodesk Inventor professional 2011

2) Ansys Workbench 14.0

8 Přílohy

Příloha A Výkres sestavy: KRA0014 - 1

Příloha B Výkres svařence rámu: KRA0014 – 2

Příloha C Výrobní výkres části vidlice: KRA0014 – 6 - 1

Příloha D Vypracování diplomové práce na CD nosiči